



Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

MECANICA DE FLUIDOS

Profesores: **Gorka Alberro Eguilegor**

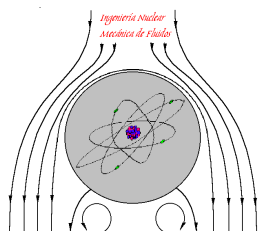
Javier Almandoz Berrondo

Ruben Jimenez Redal

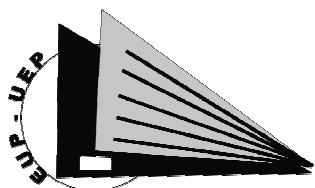
Belén Mongelos Oquiñena

Idoia Pellejero Salaberria

Curso : **2011-12**



Dpto. Ingeniería Nuclear y
Mecánica de Fluidos



Escuela Universitaria Politécnica
Unibertsitate Eskola Politeknikoa
Donostia- San Sebastián



ISBN-13: 978-84-690-5850-3

Nº REGISTRO: 07/37956

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. NORMAS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS.....	4
3. NORMAS DE PRESENTACIÓN	6

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

1. UTILIZACIÓN DE LA BALANZA (TEMA 1).....	10
2. MEDIDA DE VISCOSIDADES CON EL VISCOSIMETRO ENGLER (TEMA 2).....	11
3. VISUALIZACIÓN DE LA CAPILARIDAD (TEMA 2).....	14
4. APARATOS PARA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN	15
5. MEDIDA DE LA PRESIÓN MEDIANTE MANÓMETROS DIFERENCIALES (TEMA 4)	24
6. MEDIDA DE LA PRESIÓN MEDIANTE MICROMANÓMETROS. COMPARACIÓN CON UN MANÓMETRO EN U CONVENCIONAL (TEMA 4).....	25
7. MEDIDA DE FUERZAS SOBRE SUPERFICIES (TEMA 7).....	27
8. UTILIZACIÓN DEL HIDRÓMETRO (TEMA 6)	30
9. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LÍQUIDOS (PESADA HIDROSTÁTICA) (TEMA 6).....	31
10. MEDIDAS DE LA PRESIÓN ESTÁTICA, DINÁMICA Y TOTAL (TEMA 13).....	33
11. MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE UN FLUJO DE AIRE (TEMA 13)	35
12. CALIBRADO DE ORIFICIOS EN REGIMEN PERMANENTE. (TEMA 13)	36
13. TIEMPO DE VACIADO DE UN DEPÓSITO (TEMA 13)	39
14. CALIBRADO DE VENTURÍMETROS (TEMA 13).....	40

15. CALIBRADO DE UN DIAFRAGAMA (TEMA 13).....	42
16. MEDIDORES INDIRECTOS DE FLUJO (TEMA 13)	44
17. CALIBRADO DE UN ROTÁMETRO (TEMA 18).....	57
18. ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS (TEMA 20).....	58
19. ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN PIEZAS ESPECIALES (TEMA 21)	62
20. ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y ENSANCHAMIENTO PROGRESIVO (TEMA 19)	64
21. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE PASO Y DE LA LONGITUD EQUIVALENTE, PARA DIFERENTES GRADOS DE APERTURA DE UNA VÁLVULA (TEMA 21)	64
22. MEDICIÓN DE CAUDALES MEDIANTE VERTEDEROS (TEMA 21).....	69
23. ANÁLISIS TOPOLÓGICO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS (TEMAS 23 Y 24)	71
24. OBTENCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA, Y PÉRDIDAS DE CARGA EN LA VÁLVULA DE REGULACIÓN PARA DIFERENTES GRADOS DE APERTURA (TEMA 25).....	73
25. VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE LA CAVITACIÓN.....	75
ANEXOS.....	78

1. INTRODUCCIÓN

En toda disciplina, lo importante, lo fundamental, son sus conceptos; la resolución de problemas sean cualitativos, o cuantitativos será una cuestión relativamente sencilla si aquellos han sido madurados en la mente con claridad.

En disciplinas experimentales como son todas las ramas de la física, el trabajo en laboratorio, la visualización de fenómenos, la comprobación de leyes, en una palabra la realización de prácticas puede ser una herramienta ventajosísima para alcanzar claridad en los conceptos.

Por tal motivo, los responsables del Departamento de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos de la *Escuela Universitaria Politécnica de San Sebastián* perteneciente a la Universidad del País Vasco nos hemos impuesto como objetivo importante la potenciación y vivificación de las, tantas veces denostadas y criticadas, prácticas de laboratorio.

Con ellas, se pretende que el alumno observe de visu aquello que se le ha explicado en las clases teóricas, sin que en ningún momento se produzca divorcio entre ambas partes.

El trabajo que aquí se presenta tiene como finalidad hacer una ordenación de las prácticas que se hacen en la asignatura de Ingeniería Fluidomecánica y servir de guión al alumno; pero no se intenta, en ningún momento restarle protagonismo ni quitarle iniciativa a éste, convirtiéndole en un mero ejecutar de órdenes detalladas, sino que se desea todo lo contrario, que el alumno sea elemento fundamental de la práctica.

2. NORMAS GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS

En el momento de ejecución de las prácticas se deberán tener en cuenta una serie de pequeñas advertencias que tienen por objeto facilitar su realización y una mayor precisión en los resultados.

Es frecuente que en las prácticas sea preciso tomar una serie de datos dentro de un cierto rango, siendo conveniente hacerlo a intervalos regulares. Para ello se debe conocer en primer lugar los valores extremos, y así poder obtener los datos deseados a intervalos similares.

Por otra parte, es conveniente comenzar las medidas por el valor superior, pasando con los intervalos ya previstos, hasta el inferior.

Previamente a tomar cada uno de los datos se debe esperar hasta alcanzar el régimen permanente, siendo necesario en algunos casos, dejar transcurrir un cierto período de tiempo hasta conseguirlo. El momento en que se alcance dicho régimen se apreciará por el mantenimiento de las variables.

En determinados casos el régimen permanente absoluto no se alcanza, oscilando las variables alrededor de un valor medio, pero sin tendencia a aumentar o disminuir; en tal caso, se tomará como dato dicho valor medio, considerando el régimen como permanente.

La obtención de estados diferentes no se realizará nunca maniobrando bruscamente en las válvulas, ni en otros elementos, por motivos obvios.

La medición de caudales se podrá hacer por métodos directos e indirectos; para el método directo, en el caso de nuestro laboratorio siempre volumétrico, se utilizará un recipiente de capacidad adecuada al caudal a medir.

La medición de bajas presiones se hará preferentemente con manómetros en U, teniendo buen cuidado de eliminar las burbujas de aire, que pueden producir errores.

Los vacuómetros permanecerán aislados constantemente salvo en el momento de realizar la medición, debiendo cerciorarse, en todo caso, el laborante, de que se trata de medir una presión negativa.

La construcción de curvas a base de datos obtenidos en el laboratorio se realizará por puntos, no siendo absolutamente necesario que pasen por todos y cada uno, pudiendo prescindir de aquellos que al alejarse de la curva no parezcan lógicos o significativos.

Cuando en una práctica se toman únicamente datos en un pequeño entorno, dentro de un gran campo, se pueden obtener curvas contradictorias a las correspondientes al total del campo, o incluso a lo estudiado en la teoría; esto se incrementa por las imprecisiones de los datos tomados, bien por defecto del aparato o por impericia del lector.

3. NORMAS DE PRESENTACIÓN

Las prácticas de laboratorio se harán por grupos de alumnos, debiendo presentar cada grupo un informe de aquellas, por cada sesión de prácticas.

El informe de cada práctica o grupo de prácticas se presentará constituyendo una carpeta de formateo UNE A4.

En la carpeta figurará: en la parte superior el nombre de este centro educativo; en la parte central el título/s de la/s práctica/s; y en la parte inferior derecha el nombre de sus autores, con el número de grupo, y la fecha (mes y año).

El informe tendrá **un único índice numerado y paginado para todas las prácticas realizadas**. Cada práctica comprenderá en principio, los apartados siguientes, convenientemente numerados:

- 1 Introducción
 - 1.1 Conceptos teóricos
- 2 Esquema y método operativo de la práctica
 - 2.1 Relación de elementos utilizados
 - 2.2 Croquis de la instalación
 - 2.3 Método experimental u operativo empleado
- 3 Desarrollo del trabajo de gabinete:
 - 3.1 Datos de laboratorio (tablas)
 - 3.2 Expresiones de cálculo
 - 3.3 Resultados (tablas, gráficas...)
- 4 Interpretación de resultados y conclusiones

Vamos a describir cada uno de estos apartados:

- 1 La introducción contendrá el título de la práctica y sus objetivos.
- 2 En el esquema de la práctica se incluirá la relación de elementos empleados, un croquis de la instalación utilizada y la explicación del método experimental empleado.
- 3 En el trabajo de gabinete propiamente dicho, deberán incluirse:
 - 3.1 Las medidas realizadas en el laboratorio (cuadros, tablas...).
 - 3.2 Expresiones teóricas necesarias para la obtención de los resultados; estas expresiones siempre que sea posible, deberán ser preparadas sustituyendo los parámetros conocidos que son constantes en toda la práctica y poniendo de la forma más reducida, la sintetizada, en función de magnitudes.

$$h_f = KQ^n \quad (K=\text{cte}) \quad (n=\text{cte})$$

$$Q = KR^{1/2} \quad (K=\text{cte})$$

- 3.3 Y los resultados que se obtienen mediante las expresiones anteriormente preparadas (cuadros, ábacos...).

En su caso, se llevarán los resultados a gráficas realizados en papel milimetrado o cuadriculado, sin olvidarse del título, de las variables ordenadas, abscisas y parámetros, y de sus respectivas unidades. Siempre que sea posible se deberá utilizar la *hoja de cálculo Excell*

Las escalas de las gráficas se adaptarán de tal manera que ocupen toda la página con los márgenes lógicos. El formato de estas páginas será UNE A4 ó A3.

4. Por último se hará una interpretación de los resultados (conclusiones) incidiendo, entre otras cosas, en las diferencias aparecidas entre la teoría y la práctica, justificándolo convenientemente. Si el alumno, lo estima conveniente, sugerirá lo que crea oportuno, para mejor aprovechamiento de las prácticas.

Se pone a disposición de los alumnos un fascículo que explica la forma de realizar y presentar informes, dando normas de lo que debe ser su fondo y su forma.

PRÁCTICAS DE LABORATORIO

1. UTILIZACIÓN DE LA BALANZA (Tema 1)

1.1. **OBJETO DE LA PRÁCTICA**

Medir el peso específico y densidad de líquidos.

1.2. **FUNDAMENTO TEÓRICO**

Conceptos de peso, masa volumen, peso específico, densidad y peso específico relativo.

1.3. **MATERIAL A UTILIZAR**

- Balanza de precisión.
- Probetas (5 ml o 10 ml).
- 1 líquido problema.

1.4. **MÉTODO OPERATORIO**

Se trata de determinar mediante la balanza el peso de un determinado volumen de líquido, y calcular su peso específico.

1.5. **TRABAJO DE GABINETE**

- Explicar el método desarrollado para el cálculo de las entidades físicas solicitadas.
- Presentar en una tabla o cuadro, las medidas realizadas en el laboratorio.
- Calcular y presentar en forma de cuadro: el peso, la masa, peso específico, densidad y peso específico relativo del líquido problema; expresando dichas magnitudes en los tres sistemas de unidades (CGS, Internacional y Técnico).
- Calcular los valores que tomarían las magnitudes calculadas anteriormente en un planeta cuya gravedad fuese de $3,5 \text{ m/s}^2$. Expresarlas asimismo en los tres sistemas de unidades.

2. MEDIDA DE VISCOSIDADES CON EL VISCOSIMETRO ENGLER (Tema 2)

2.1. OBJETO DE LA PRÁCTICA

Medir viscosidades empíricas en grados Engler de líquidos, pero en especial de los aceites minerales.

2.2. FUNDAMENTO TEORICO

La determinación de viscosidades empíricas, se basa en la medición del tiempo que tarda en pasar una cantidad de líquido prefijada a través de un orificio calibrado.

Grados Engler es la relación entre el tiempo de salida de 200 ml de muestra, a la temperatura del ensayo, y el de salida de 200 ml de agua destilada, a 20 °C , a través del orificio del viscosímetro Engler.

2.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Viscosímetro Engler.
- Agua destilada.
- Un aceite (problema).
- Cronómetro.
- Balanza.
- Matraces y probetas.

2.4. MÉTODO OPERATORIO

a. Se llena la vasija interior con agua, de tal forma que ésta rebase en unos dos milímetros las puntas interiores del recipiente. Seguidamente se saca suavemente el espigón, y se deja escurrir el agua hasta que quede a nivel de las puntas mencionadas, ajustando el aparato por medio de tornillos de ajuste de tal manera que todas las puntas se encuentren al mismo nivel de agua.

b. Se cubre el recipiente interior por medio de una tapa, atravesada por un termómetro. Una vez efectuada la operación mencionada se empieza a calentar al baño

maría hasta conseguir la temperatura a que se desea realizar la medición (20°C), una vez estabilizada la misma deberá permanecer constante durante unos cinco minutos. Para conseguir una mayor homogeneidad en la temperatura del líquido conviene agitarlo cuidadosamente, por medio del agitador y girando la tapa pero manteniendo cerrado en todo momento el tubo de desagüe por medio del espigón.

c. Una vez realizado lo mencionado en el apartado anterior, se coloca un matraz de 200 ml debajo del desagüe y se levanta el espigón para que se produzca el escurrido del líquido, procurando evitar durante toda la operación que se produzcan vibraciones que falseen la medición. En el mismo momento que se levanta el espigón se pone en marcha un cronómetro, parándolo cuando el borde inferior del menisco pase por la marca de 200 ml. Con el fin de evitar la formación de espumas se inclinará el matraz, de tal forma que el líquido corra hacia la pared interior de la parte estrecha del matraz. Tan pronto como el nivel se acerque a la marca de 200 ml poner el matraz derecho.

d. Se efectuará a continuación empleando el mismo procedimiento que se ha descrito para el agua, la medición del aceite del cual interesa obtener su viscosidad. Dicha medición se efectuará a distintas temperaturas. Después de realizar la medición con el aceite se deberá limpiar cuidadosamente el aparato para sucesivos ensayos.

e. Si se tratase de un aceite muy viscoso que no permite que se produzca el escurrimiento de forma continua, efectuándose el mismo goteando, se procederá a efectuar la medición a una temperatura superior, tal que permita la desaparición del goteo.

f. Se harán 2 mediciones a la misma temperatura con el mismo líquido. Hallando el promedio aritmético tendremos el valor medio bajo ensayo y aplicando la relación del apartado 1.2. tendremos los grados Engler del aceite bajo ensayo.

g. Para el cálculo de las densidades del agua y el aceite: se toma una probeta limpia y seca y se pesa. Se miden en ella 10 ml de agua y se pesan. A continuación en la misma probeta, previamente limpia y seca, se miden 10 ml de aceite y se pesan, indicando la temperatura a la cual se realiza la pesada.

2.5. MEDICIONES A REALIZAR

Anotar las lecturas de temperatura, tiempo y pesada. Con las dos primeras confeccionar la gráfica de temperaturas-viscosidades ($^{\circ}\text{E}$).

Se efectuará en primer lugar la medición del agua y a continuación la correspondiente al aceite.

Se aconseja trabajar con temperaturas de unos 30 y 60°C.

Un grupo trabajará con 3 temperaturas y el otro trabajará con otras 3 diferentes, intercambiándose los resultados.

2.6. TRABAJO DE GABINETE

- Cálculo de la viscosidad empírica en $^{\circ}\text{Engler}$ y gráfica de temperatura-viscosidad ($^{\circ}\text{E}$).
- Cálculo de la viscosidad cinemática en Stokes.
- Cálculo de la densidad, peso específico y peso específico relativo del aceite y del agua a una temperatura en los sistemas Técnico, Internacional y Cegesimal.
- Cálculo de la viscosidad dinámica del aceite a una temperatura en los sistemas Técnico, Internacional y Cegesimal.

3. VISUALIZACIÓN DE LA CAPILARIDAD (Tema 2)

3.1. OBJETO DE LA PRÁCTICA

Visualizar el fenómeno de la capilaridad debida a la tensión superficial de los líquidos, en tubos circulares y entre placas paralelas.

3.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Conceptos de tensión superficial y capilaridad.

3.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Depósitos con diferentes líquidos (agua y mercurio).
- Tubos circulares de diferentes diámetros:
 - $\varnothing_1=1,81$ mm.
 - $\varnothing_2=1$ mm..
- Placas paralelas.
- Alcohol (limpieza).

3.4. MÉTODO OPERATORIO

Se introducen en el seno de diferentes líquidos tubos de sección circular de diámetro reducido y placas paralelas colocadas a pequeña distancia. Se trata de visualizar la elevación o descenso de los líquidos en los tubos o entre las placas, así como la forma cóncava o convexa de los meniscos, tanto exteriores como interiores.

3.5. TRABAJO EN GABINETE

- Esquema comparativo de los elementos capilares observados en el laboratorio con agua y con mercurio y el efecto producido
- Deducción de la ley de Jurin para **tubos y placas**.
- Dibujar el diagrama de fuerzas que conforman los meniscos, indicando la forma de éstos.

4. APARATOS PARA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN (Tema 4)

Los aparatos que miden la presión se denominan comúnmente manómetros, ya que lo usual es que se utilicen para conocer la presión manométrica.

La realidad es que todos los manómetros lo que miden es la diferencia de presiones entre dos ambientes, siendo lo más usual pero no excluyente, que la presión de uno de ellos sea la atmósfera local.

Una primera clasificación puede dividir los manómetros en directos e indirectos; son los primeros los basados en la ecuación fundamental de la hidrostática, exclusivamente; y los segundos, los que tarados previamente, traducen la presión de una medida mecánica, eléctrica, electrónica... o combinación de ellas.

Entre los manómetros directos se tienen:

1. Piezómetro abierto sin líquido manométrico.
2. Piezómetro abierto con tubo en U y líquido/s manométrico/s.
3. Manómetro diferencial con líquido/s manométrico/s.
4. Manómetro de líquidos inmiscibles.
5. Manómetro inclinado.

El piezómetro abierto [Figura 4-1 (a)] sirve sólo para líquidos con sobrepresión de valor muy limitado.

El orificio piezométrico puede colocarse en cualquier punto del depósito, cuya presión desea conocerse; así que el piezómetro [Figura 4-1 (b)] sirve sólo para líquidos con valores de presión o depresión muy limitados.

El piezómetro abierto incrementa su utilidad a gases, y a presiones y depresiones de valor no tan limitado, disponiendo un tubo en U con líquido o líquidos manométricos, como muestra [Figura 4-1 (c)].

El manómetro diferencial con líquidos manométricos se diferencia exclusivamente del anterior en que la rama en contacto con la atmósfera local, se pone en contacto con un segundo depósito presurizado y por tanto mide diferencia de presiones.

Los aparatos hasta ahora mencionados tienen dificultades para apreciar pequeñas presiones o pequeñas diferencias de presiones, para ello se utilizan el manómetro de líquidos inmiscibles, el inclinado y el de gancho.

El de líquidos inmiscibles requiere dos líquidos de color diferente con densidad lo más próxima posible; el inclinado potencia la medida por el inverso del seno de la rama dispuesta de tal forma. El micromanómetro de gancho, tiene la virtud de apreciar con exactitud los niveles de los meniscos.

Los manómetros indirectos convierten la presión hidráulica en un desplazamiento mecánico por medio de algún elemento intermedio, que a su vez puede traducirse en alguna medida de tipo eléctrico o electrónico, que, previa conversión se refleje en pantalla.

El manómetro indirecto más simple convierte la presión hidráulica en un desplazamiento mecánico que se refleja en una esfera previa conversión del desplazamiento en presión. Esta conversión se conoce mediante tarado.

Los manómetros más complejos traducen a su vez el desplazamiento mecánico en alguna medida de tipo eléctrica o electrónica que previa conversión se refleja en alguna manera en pantalla.

Entre los manómetros indirectos del primer tipo se encuentran el anaeroide con muelle tubular (tipo Bourdon) y el de membrana.

Si sólo miden presiones positivas se denominan específicamente manómetros, si se utilizan solamente para presiones negativas vacuómetros y si es indiferente manovacuómetros.

Si las presiones que aprecian son reducidas se suelen denominar ventómetros o deprimómetros..

Si el aparato está destinado a medir presiones oscilantes no estables, se rellena la esfera con glicerina, a fin de atenuar las oscilaciones de la aguja.

La medición se puede hacer en esferas con escala excéntrica, concéntrica o lineal. También puede utilizarse una representación gráfica o digital.

El manómetro puede no solo ser indicador sino también registrador, acusador, activador, transmisor, o combinaciones de los fines anteriores.

El indicador solamente señala la presión; el registrador lo anota a lo largo del tiempo de manera gráfica o digital; el acusador advierte o registra determinadas presiones, extremas o no; el activador realiza alguna misión al llegar a presiones concretas, extremas o no, suele recibir el nombre de presostato; el transmisor manda la información a otro lugar, próximo o remoto.

Los manómetros se gradúan y taran para las presiones que se deseen, si bien existe una normalización de dichas graduaciones.

La presión máxima de trabajo no debe de pasar de los $2/3$ de la graduación total cuando la presión es constante y de la mitad cuando sea variable.

El manómetro es, a igualdad de todas las circunstancias restantes, más preciso cuanto mayor sea su tamaño.

Si el manómetro dispone de válvula de conexión, ésta debe abrirse lentamente, para evitar golpes bruscos sobre el elemento medidor. Si se trata de medir la presión de un vapor debe incorporarse un tubo sifón intermedio.

Los manómetros de membrana pueden ser abiertos en el caso de medir la presión de líquidos densos o viscosos.

Los manómetros siempre se disponen en paralelo.

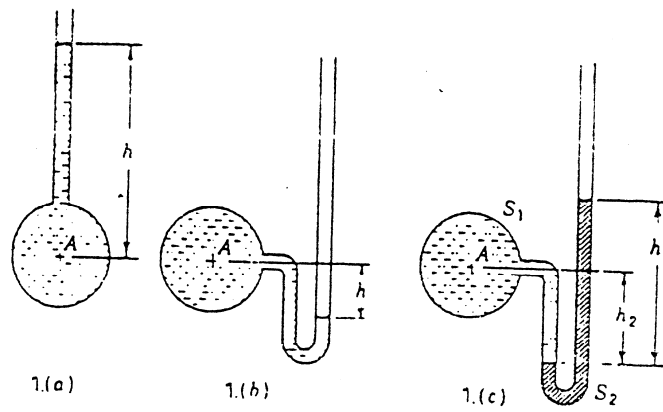


Figura 4-1 – Manómetros simples.

Figura 4-2 - Forma anular para las conexiones piezométricas y manométricas en tuberías, que permite la obtención de la altura piezométrica medida con mayor precisión.

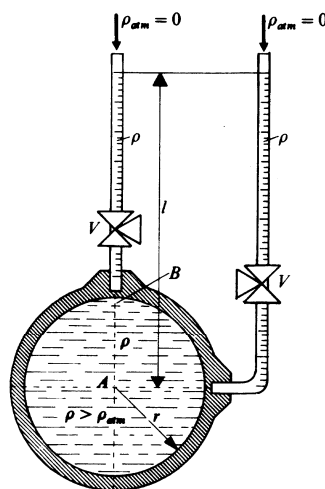
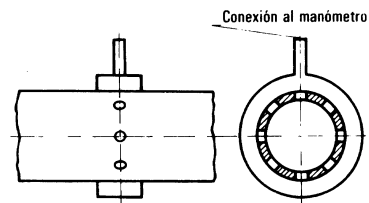


Figura 4-3 – Orificio y tubo piezométrico.

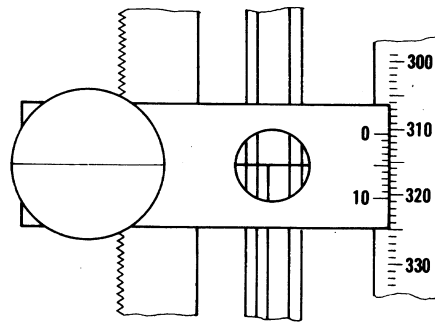


Figura 4-4 – Lectura de manómetros con nonius.

Figura 4-5 – Los tubos piezométricos constituyen el procedimiento más económico y al mismo tiempo de gran precisión para medir presiones relativamente pequeñas. La precisión de la medida exige que el orificio piezométrico esté bien practicado.

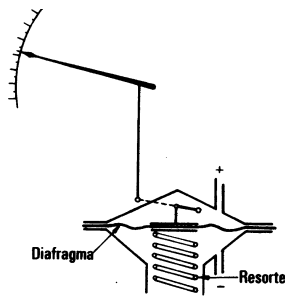
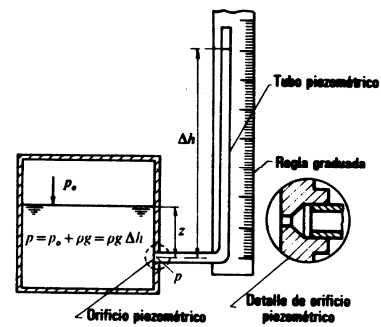


Figura 4-6 – Manómetro diferencial combinado de diafragma y resorte.

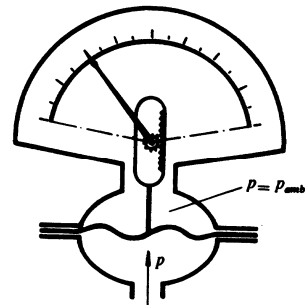


Figura 4-7 – Manómetro de membrana.

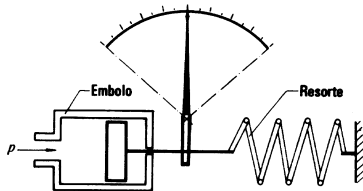


Figura 4-8 – Manómetro de émbolo. El émbolo ha de tener el menor rozamiento posible

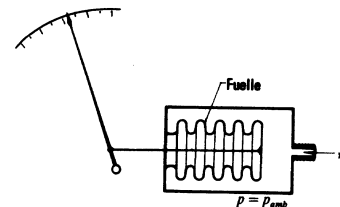


Figura 4-9 – Manómetro de fuelle.

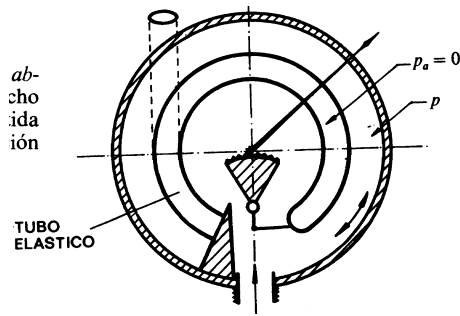


Figura 4-10 – Manómetro de Bourdon para presiones absolutas. En el interior del tubo elíptico se ha hecho el vacío: la deformación de dicho tubo, transmitida por el sector y piñón a la aguja indicadora es función de la presión absoluta.

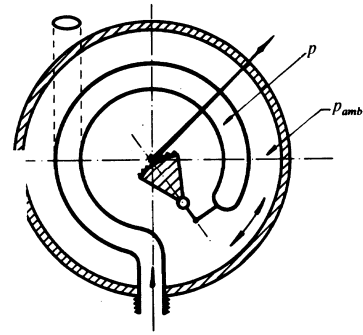


Figura 4-11 – Manómetro de Bourdon para presiones relativas. En este caso la deformación del tubo elíptico es función de la presión relativa, porque la presión a medir actúa en el interior del tubo y la presión atmosférica en el exterior.

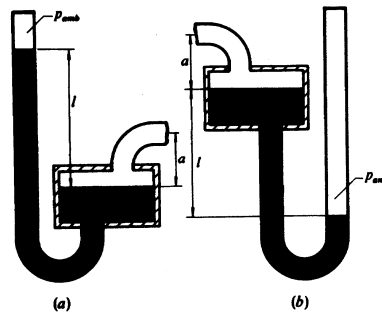


Figura 4-12 – (a) Manómetro de cubeta; (b) Vacuómetro de cubeta. Estos manómetros, lo mismo que el barómetro de cubeta evitan el tener que mover constantemente la escala para leer presiones

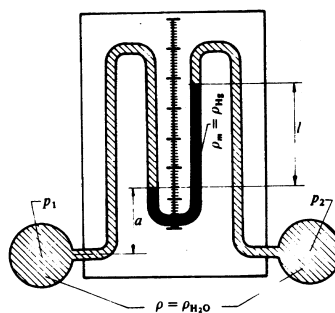


Figura 4-13 – Manómetro diferencial. La sensibilidad del manómetro es tanto mayor cuanto la diferencia $p_m - p$ sea menor. En la figura: $p = 1000 \text{ kg/m}^3$ $p_m = 13600 \text{ kg/m}^3$

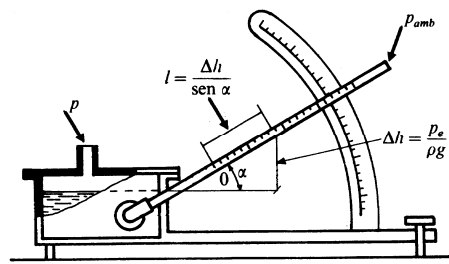


Figura 4-14 – Micromanómetro de tubo inclinado, dotado de dispositivo que permite variar α para aumentar la sensibilidad en la medida de presiones pequeñas.

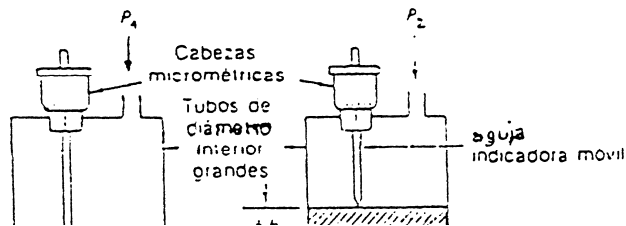


Figura 4-15 – Manómetro tipo micrómetro.

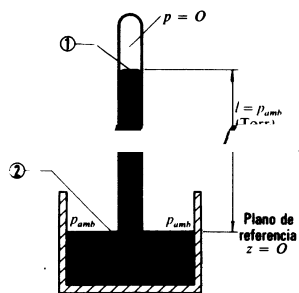


Figura 4-16 – Barómetro de mercurio de cubeta para medir la presión ambiente o atmosférica.

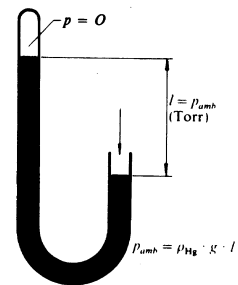


Figura 4-17 – Barómetro de mercurio en u para medir la presión ambiente o atmosférica.

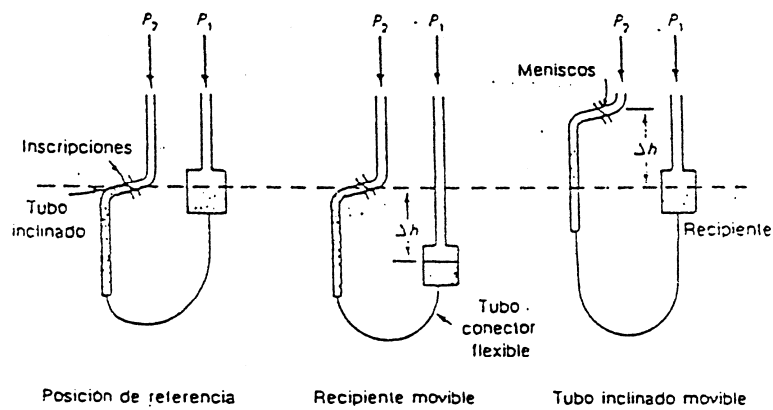


Figura 4-18 – Dos variantes del micromanómetro de tipo Prandtl.

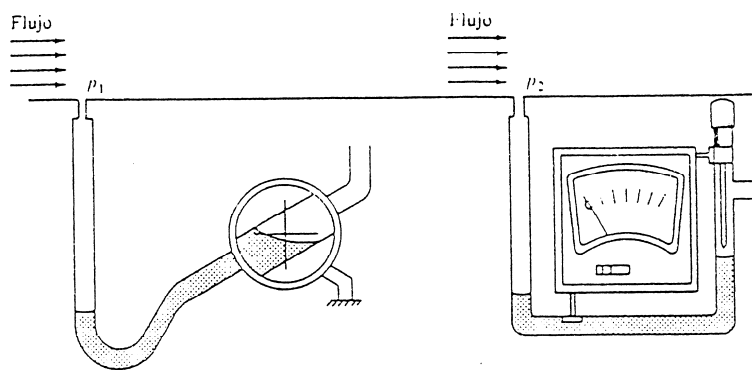


Figura 4-19 – Dos tipos de manómetros de precisión: (a) *Tubo inclinado con lupa.* (b) *Micromanómetro con amperímetro.*

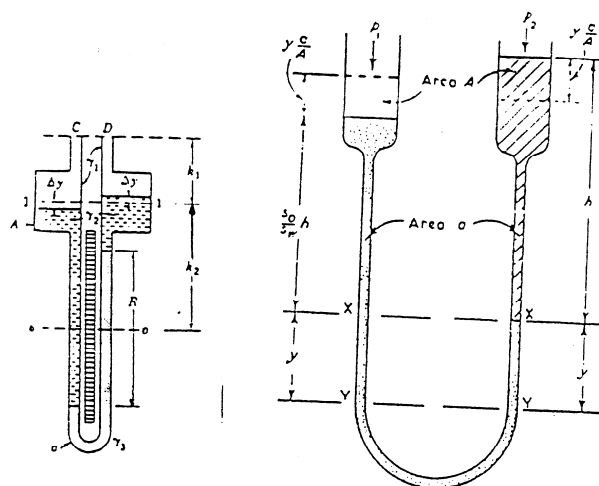


Figura 4-20 – Micromanómetro de líquidos inmiscibles.

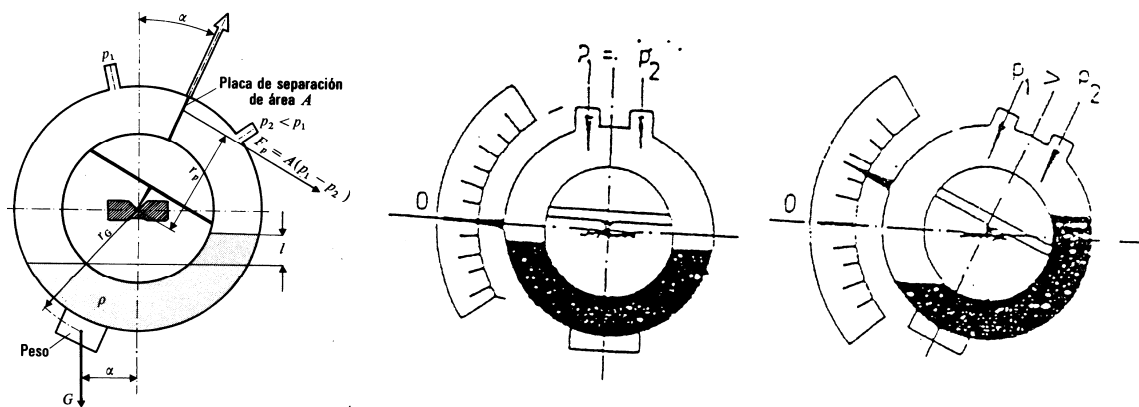


Figura 4-21 – Manómetro diferencial tórico o balanza anular.

5. MEDIDA DE LA PRESIÓN MEDIANTE MANÓMETROS DIFERENCIALES (Tema 4)

5.1. OBJETO DE LA PRÁCTICA

Medir la presión de un depósito mediante manómetros diferenciales.

5.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Ecuación fundamental de la hidrostática y sus consecuencias.

5.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Dos recipientes.
- Un manómetro en U.
- Barómetro.
- Líquidos manométricos.
- Regla graduada.
- Aire a presión con manoreductor.

5.4. MÉTODO OPERATORIO

Se trata de conocer la presión en un depósito presurizado con aire comprimido.

5.5. TRABAJO DE GABINETE

- Explicar el método desarrollado para el cálculo de la presión del recipiente.
- Presentar un esquema de la práctica, indicando las medidas realizadas y los cálculos pertinentes para conocer dicha presión.
- Calcular la presión manométrica en los tres sistemas, en metros de columna de agua, en metros de columna de líquido ($s=2$), y en atmósferas.
- Calcular la presión absoluta en bar, y en metros de columna de mercurio ($s=13,6$)

6. MEDIDA DE LA PRESIÓN MEDIANTE MICROMANÓMETROS. COMPARACIÓN CON UN MANÓMETRO EN U CONVENCIONAL (Tema 4)

6.1. OBJETO DE LA PRÁCTICA

Medir pequeñas variaciones de presión con exactitud, comprobando la sensibilidad de los micromanómetros frente a los manómetros convencionales.

6.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Ecuación fundamental de la hidrostática y sus consecuencias.

6.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Micromanómetro inclinado.
- Micromanómetro de líquidos inmiscibles.
- Manómetro en U.
- Jeringa para variar la presión.
- Tubo flexible y piezas en T.

6.4. MÉTODO OPERARIO

Mediante la jeringa se producirá una pequeña variación de la presión, que se medirá simultáneamente con un micromanómetro y con el manómetro en U.

6.5. TRABAJO DE GABINETE

- Presentar un esquema de la práctica.
- Explicar el método desarrollado para el cálculo de las presiones, indicando claramente las medidas realizadas y deduciendo las expresiones teóricas y prácticas utilizadas en dicho cálculo.

- Analizar el grado de sensibilidad de cada micromanómetro en comparación con el manómetro en U convencional, es decir, indicar la mínima presión que puede medirse con cada micromanómetro y el manómetro en U convencional, en el S.I., suponiendo que la mínima medida de longitud fiable es de 1 mm.
- Expresar las medidas de presión realizadas en el Sistema Internacional y en mcl del líquido del manómetro en U.

7. MEDIDA DE FUERZAS SOBRE SUPERFICIES (Tema 7)

7.1. OBJETO DE LA PRÁCTICA

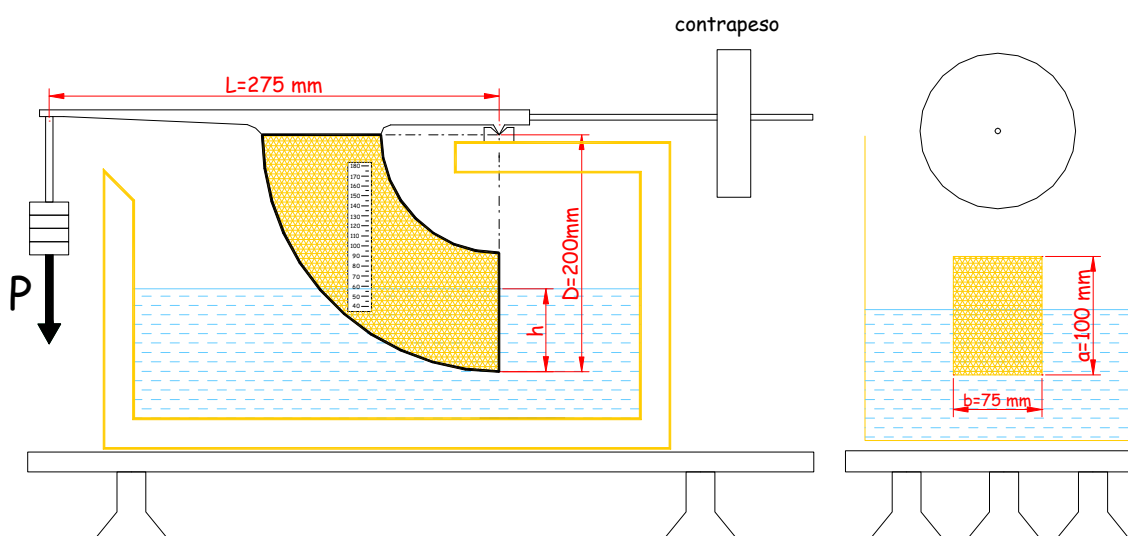
Medir las fuerzas que actúan sobre un cuerpo sumergido en un fluido, comparar dichas fuerzas con las calculadas teóricamente, mediante los prismas de presiones, y lograr una mejor comprensión y dominio de dichos prismas.

7.2. FUNDAMENTO TEORICO

Ecuación Fundamental de la Hidrostática y sus consecuencias, cálculo de fuerzas sobre superficies, y condiciones de equilibrio estático.

7.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Banco de pruebas
- Recipiente para el agua.



7.4. MÉTODO OPERATORIO

Antes de iniciar la toma de medidas es fundamental que el *aparato* se encuentre *horizontal*, es decir en equilibrio respecto de su articulación, para ello se regula mediante el

contrapeso y la burbuja de una de las tres patas. Centrando la burbuja, se equilibra el dispositivo.

El aparato dispone de una serie de pesas: 2 de 20 g, y 8 de 50 g

En el extremo izquierdo del aparato se van colocando pesas de magnitud conocida, cada vez que se varían las pesas se va añadiendo líquido (agua) hasta conseguir el equilibrado del aparato, es decir hasta que se encuentre en equilibrio estático (Momento total respecto de la articulación nulo).

El proceso se va repitiendo realizando medidas con diferentes pesadas, para altura de agua inferior a 100 mm (superficie vertical parcialmente sumergida) y otras para altura de agua entre 100 y 200 mm (superficie totalmente sumergida).

Se tomarán, como mínimo, **cuatro** medidas con la superficie vertical sumergida parcialmente, y otras **cuatro** medidas con la superficie vertical totalmente sumergida.

7.5. TRABAJO DE GABINETE

- Esquema de la práctica.
- Fundamento de la práctica, analizando el principio de funcionamiento.
 - Equilibrado inicial (sin agua) . Analizarlo y explicar su causa.
- Prismas de presiones acotados de las fuerzas hidrostáticas del agua sobre la compuerta en función de la altura de agua (**h**) y para:
 - $h \leq 100$ mm.
 - $h > 100$ mm.
- Deducir razonando, cuál es el momento que origina la fuerza del agua sobre la parte curva de la compuerta respecto de la articulación.
- Deducir para cada **h** la expresión del *peso teórico* que habría que colocar para alcanzar el equilibrio estático, tanto para $h \leq 100$ mm, como para $h > 100$ mm.
- Calcular el *peso teórico* para cada altura **h** medida en el laboratorio, indicando en cada caso el *peso real* utilizado. Expresad estos resultados en un tabla ordenada.

- Dibujar en ejes coordenados la relación entre los **pesos teóricos y reales** y la altura **h** de agua:
 - Abcisas : altura **h** en mm.
 - Ordenadas: **peso teórico** en “g” (curva en negro)
 - Ordenadas: **peso real** en “g” (por puntos en rojo).

Justificar y razonar la diferencia entre los valores teóricos y reales.

Ayuda: Utilizar para los cálculos y graficas, la hoja de cálculo “excel”.

8. UTILIZACIÓN DEL HIDRÓMETRO (Tema 6)

8.1. OBJETO DEL ENSAYO

Empleo del hidrómetro o densímetro para cálculo de densidades de líquidos.

8.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Fuerzas sobre cuerpos sumergidos. Empuje. Principio de Arquímedes.

8.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Hidrómetros de diferente escala.
- Líquidos de diferentes pesos específicos.

8.4. MÉTODO OPERATORIO

Se vierte un líquido problema en una probeta, introduciendo a continuación el densímetro para conocer la densidad relativa. Se anota la medida o medidas necesarias para posteriormente calcular el peso del densímetro utilizado.

8.5. TRABAJO DE GABINETE

- Explicación breve del fenómeno del empuje.
- Cuadro de todas las medidas tomadas en el laboratorio.
- Cálculo del peso de los hidrómetros utilizados.

9. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LÍQUIDOS (PESADA HIDROSTÁTICA) (Tema 6)

9.1. **OBJETO DEL ENSAYO**

Cálculo de la densidad de líquidos por medio de la balanza y el pesaje hidrostático.

9.2. **FUNDAMENTO TEÓRICO**

Fuerzas sobre cuerpos sumergidos. Empuje. Principio de Arquímedes.

9.3. **MATERIAL A UTILIZAR**

- Balanza.
- Termómetro de volumen conocido
- Soporte de la balanza para pesaje hidrostático.
- Depósito para líquido.
- Líquido (mezcla de agua y acetona).

9.4. **MÉTODO OPERATORIO**

- Suspender el termómetro en el gancho situado en la parte inferior de la balanza y tomar nota de la lectura del peso “ P_1 ”.
- Repetir la operación ,esta vez sumergiendo el termómetro totalmente en el líquido. Asegurarse que todo el cuerpo del termómetro quede sumergido en el líquido y no toque las paredes del depósito. Tomar nota de la lectura del peso “ P_2 ”.

NOTA: El termómetro ha sido ajustado para tener un volumen de exactamente 6 cm^3 .

9.5. **TRABAJO DE GABINETE**

- Obtención de la expresión de la densidad del líquido en función de P_2 , P_1 y S_{agua} .
Tener en cuenta que el volumen del termómetro es exactamente 6 cm^3
- Calcular la densidad relativa de la mezcla de agua y acetona.

- Tomar nota de la temperatura del líquido y multiplicar los resultados obtenidos por el factor de corrección, según la tabla adjunta.

Temp. °C	Factor de corrección	Temp. °C	Factor de corrección	Temp. °C	Factor de corrección	Temp. °C	Factor de corrección
0	0.999868	10	0.999727	20	0.998230	30	0.995673
1	0.999927	11	0.999632	21	0.998019	31	0.995367
2	0.999968	12	0.999525	22	0.997797	32	0.995052
3	0.999992	13	0.999404	23	0.997565	33	0.994729
4	1.000000	14	0.999271	24	0.997323	34	0.994398
5	0.999992	15	0.999126	25	0.997071	35	0.994058
6	0.999968	16	0.998970	26	0.996810		
7	0.999929	17	0.998801	27	0.996539		
8	0.999876	18	0.998622	28	0.996259		
9	0.999808	19	0.998432	29	0.995971		

10. MEDIDAS DE LA PRESIÓN ESTÁTICA, DINÁMICA Y TOTAL (TEMA 13)

10.1. OBJETO DEL ENSAYO

Familiarizarse con las presiones estática, dinámica y total, y comprender sus diferencias. Conocer los aparatos con que se miden.

10.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Medidas y control en el flujo fluido. Ecuación de Bernoulli.

10.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Alimentador de caudal (bomba sumergible)
- Sistema de tuberías
- Piezas especiales (codos, curvas, válvulas...)
- Tubo estático
- Piezómetros abierto y presurizado.
- Tubo de Pitot incorporado a la tubería
- Depósito tarado para la medida del caudal
- Cronómetro.

10.4. MÉTODO OPERATORIO

Comprobar la instalación antes de la puesta en marcha, verificando el estado de todas las válvulas.

Se pone en marcha el alimentador de caudal, hasta alcanzar el funcionamiento de régimen. La válvula esférica superior del montaje deberá estar cerrada para poder calcular las diferentes presiones en el eje de la tubería.

Se anotarán, para cada caudal, las medidas facilitadas por el piezómetro abierto a la presión atmosférica y por el conjunto formado por el piezómetro abierto, el tubo de Pitot y el tubo estático presurizados. Esto se realizará para unos 6 caudales diferentes, calculados utilizando el método volumétrico con el depósito tarado y un cronómetro.

10.5. TRABAJO DE GABINETE

- En primer lugar se dibujará un esquema de la práctica.

Con los datos obtenidos se calcularán los siguientes apartados para cada caudal:

- Presión estática en el eje de la tubería mediante el piezómetro abierto a la presión atmosférica.
- Presión dinámica con el tubo de Pitot y el piezómetro abierto presurizados.
- Caudal circulante mediante la presión dinámica obtenida y el diámetro del conducto.
- Explicar la diferencia de medida entre el tubo estático y el piezómetro abierto.
- Calcular las pérdidas de carga entre el piezómetro y el tubo estático.
- Caudal circulante mediante el método volumétrico.
- Explicar la diferencia de caudales entre el caudal calculado mediante el método volumétrico y el calculado mediante la presión dinámica.
- Presión dinámica mediante el caudal medido y el diámetro del conducto, analizando y justificando los valores obtenidos en comparación con los del Pitot y piezómetro.
- Representar en papel milimetrado, con los datos obtenidos mediante el Pitot, piezómetro y tubo estático, las gráficas:

- $$h_f (\text{ordenadas}) - \left(\frac{V^2}{2g} \right) (\text{abcisas})$$

- $$h_f (\text{ordenadas}) - Q (\text{abcisas})$$

11. MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE UN FLUJO DE AIRE

(Tema 13)

11.1. OBJETO DE LA PRÁCTICA

Medir la presión dinámica de un flujo de aire a la salida de un conducto.

11.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Ecuación de Bernoulli y sus aplicaciones, así como medidas de presión.

La energía cinética de un flujo se transforma en el orificio del tubo de Pitot en presión; si dicho flujo sale a la atmósfera libre, la medida de presión nos permitirá conocer la velocidad del flujo.

11.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Instalación de aire comprimido.
- Mano-reductor y enchufe rápido.
- Toberas.
- Tubo de Pitot.
- Manómetro diferencial en U.
- Barómetro.
- Termómetro

11.4. MÉTODO OPERATORIO

Se pondrá en marcha el compresor de tal forma que salga el aire a una determinada velocidad por la tobera. Se aplicará el tubo de Pitot a la salida y éste se conectará con el manómetro diferencial en U, realizándose medidas para **3** velocidades diferentes.

11.5. TRABAJO DE GABINETE

- Explicar el método desarrollado para el cálculo de velocidades.
- Dibujar un esquema de la práctica
- Deducir y obtener la expresión matemática necesaria para el calculo de la velocidad.
- Calcular la velocidad de salida del aire para cada medida de presión realizada.

12. CALIBRADO DE ORIFICIOS EN REGIMEN PERMANENTE (Tema 13)

12.1. OBJETO DEL ENSAYO

Evidenciar las pérdidas de carga existentes en todo flujo, con la consiguiente disminución del Bernoulli. Conocer los coeficientes de velocidad, contracción y gasto en orificios. Utilización del tubo de Pitot.

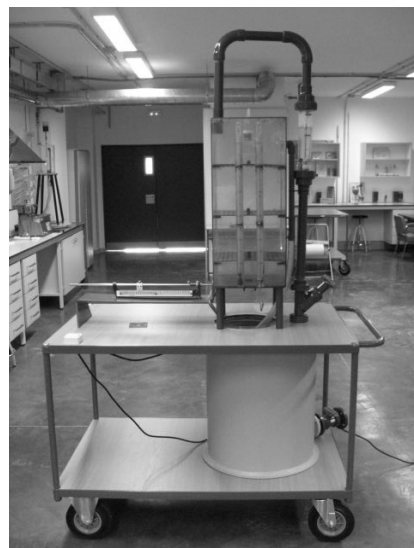
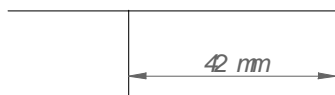
12.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Ecuación de Bernoulli y sus aplicaciones.

12.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Depósito con piezómetro abierto y rebosadero.
- Orificios de distintos diámetros.
- Tubo de Pitot.
- Medidor de caudal.
- Linnímetro con pieza en U.
- Alimentador de caudal.

La longitud de la pieza en U es la siguiente:



Los diámetros de los orificios son de 20mm el pequeño y 22mm el mayor.

La distancia desde la base del depósito hasta la salida del orificio es 23,8mm.

12.4. MÉTODO OPERATORIO

Comprobar la instalación antes de la puesta en marcha, verificando el estado de todas la válvulas.

Se montará el sistema disponiendo en serie el alimentador de caudal, el caudalímetro, el depósito del ensayo, un orificio de diámetro conocido y el tubo de Pitot.

Se pondrá en marcha el alimentador de caudal y se regulará el caudal entrante mediante la válvula de asiento lateral.

Una vez alcanzado el régimen estacionario, se anotarán las medidas que proporcione el piezómetro abierto, el tubo de Pitot y el linnímetro con pieza en U.

Asimismo, se anota el caudal proporcionado por el caudalímetro, como dato de referencia para comprobación del flujo permanente.

Se realizará esta operación para 6 caudales diferentes.

12.5. TRABAJO DE GABINETE

- Con los datos tomados en el laboratorio se calculará para cada caudal los valores siguientes:
 - 1 V_t = velocidad teórica.
 - 2 V_r = velocidad real.
 - 3 C_v = coeficiente de velocidad.
 - 4 A_t = Sección teórica.
 - 5 A_r = Sección real.
 - 6 C_c = coeficiente de contracción.
 - 7 $Q_t = A_t \cdot V_t$ = Caudal teórico.
 - 8 $Q_r = A_r \cdot V_r$ = Caudal real.
 - 9 C_D = Coeficiente de gasto.
- Comprobar si se ha alcanzado el flujo permanente en el depósito, comparando el $Q_{\text{real calculado}}$ y el $Q_{\text{caudalímetro}}$.
- Tabular las diferencias entre ambos caudales si existen.
- Hallar el valor medio del coeficiente de contracción.
- Con los datos resultantes de los seis caudales se construirán las siguientes curvas utilizando la hoja de cálculo Excel:
 - Velocidad real (abscisas) – Coeficiente de velocidad C_v (ordenadas), razonando la naturaleza de la gráfica obtenida.
 - Caudal real (abscisas) – Coeficiente contracción C_c (ordenadas), razonando la naturaleza de la gráfica obtenida.

- Caudal real (abscisas) –coeficiente de gasto C_d (ordenadas), razonando la naturaleza de la gráfica obtenida.
- Caudal teórico (abscisas) -Caudal real (ordenadas). Agregar línea de tendencia explicando el significado de la pendiente de esta línea
- Velocidad teórica (abscisas) -Velocidad real (ordenadas). Agregar línea de tendencia explicando el significado de la pendiente de esta línea.
- Energía cinética a la salida (abscisas) –perdidas de carga h_f (ordenadas). Interpretar el tipo de gráfico obtenido.

13. TIEMPO DE VACIADO DE UN DEPÓSITO (Tema 13)

13.1. OBJETO DEL ENSAYO

Medir el tiempo real de vaciado de un depósito de sección recta constante y compararlo con el tiempo teórico.

13.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Ecuación de Bernoulli y sus aplicaciones.

13.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Depósito con piezómetro abierto, rebosadero y obturador.
- Cronómetro.
- Alimentador de caudal.

13.4. MÉTODO OPERATORIO

Comprobar la instalación antes de la puesta en marcha, verificando el estado de todas las válvulas.

Se dispondrá el depósito mencionado con el orificio obturado y se llenará hasta un cierto nivel.

En un momento determinado, se quitará el obturador y se pondrá en marcha el cronómetro. Se anotará el tiempo real de vaciado, no debiendo nunca estos tiempos ser inferiores a 10 segundos.

Realizar medidas para cinco niveles diferentes.

13.5. TRABAJO DE GABINETE

- Calcular para cada caso lo siguiente:
 - ⇒ Expresión del tiempo teórico en función de las variables consideradas.
 - ⇒ Cálculo del tiempo teórico (4 medidas).
 - ⇒ Compararlo con el real y explicar los motivos de la diferencia de valores.

14. CALIBRADO DE VENTURÍMETROS (Tema 13)

14.1. OBJETO DEL ENSAYO

Conocimiento, manejo, y tarado de los aparatos deprimógenos.

14.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Ecuación de Bernoulli y sus aplicaciones, Ecuación de la continuidad y medidas de presión.

14.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Alimentador de caudal (bomba sumergible).
- Sistemas de tuberías .
- Piezas especiales (codos, curvas, válvulas...).
- Venturi.
- Rotámetro.

14.4. MÉTODO OPERATORIO

Comprobar la instalación antes de la puesta en marcha, verificando el estado de todas las válvulas.

El esquema de la práctica consiste en una bomba sumergida en un depósito desde el que se vehicula agua a través de unas tuberías entre las que se dispone el rotámetro, la válvula de asiento inclinado, para regular el caudal, y el venturímetro terminando en el mismo depósito de partida.

Se pondrá en funcionamiento la bomba y mediante la válvula de asiento inclinado se regulará un determinado caudal; en el momento de alcanzar el régimen permanente se medirá éste mediante el rotámetro debiendo tener en cuenta por tanto en los cálculos el coeficiente de corrección del rotámetro; y se anotarán las alturas de los meniscos de las 3 ramas de manómetro de aire acoplado al venturímetro.

Se efectuarán estas medidas para 6 caudales.

14.5. TRABAJO DE GABINETE

- Dibujar el esquema de la práctica.
- Con los datos obtenidos o medidos en el laboratorio (Q , h_1 , h_2 , h_3) reflejados convenientemente en forma de tabla, calcular para cada caudal los siguientes parámetros:
 - $R = h_1 - h_2$.
 - Coeficiente del venturímetro: C_v ,
 - Pérdida de carga en el venturímetro (h_{f13}),
 - Velocidad en la tubería (V_1),
 - Energía cinética en la misma $\left(\frac{V_1^2}{2g} \right)$
 - Número de Reynolds (Re_1). $\nu_{\text{agua}} = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Los resultados se reflejarán igualmente en forma de cuadros o tabla.

- Dibujar las siguientes gráficas o curvas en papel milimetrado:
 - ✓ Q (abcisas) – R (ordenadas)
 - ✓ Re (abcisas) – C (ordenadas)
 - ✓ $\left(\frac{V_1^2}{2g} \right)$ (abcisas) – h_{f13} (ordenadas)
- Comentar y obtener conclusiones de las curvas obtenidas.

15. CALIBRADO DE UN DIAFRAGAMA (Tema 13)

15.1. OBJETO DEL ENSAYO

Conocer la forma de medir caudales en conductos cerrados mediante diafragmas y el tarado de los mismos.

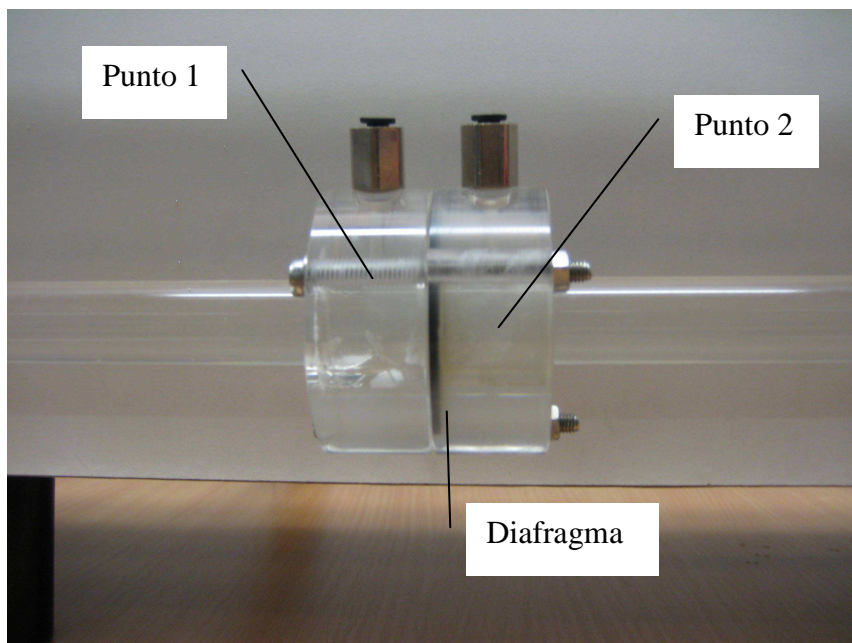
15.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Ecuación de Bernoulli y sus aplicaciones, Ecuación de la continuidad y medida de presiones.

15.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Alimentador de caudal.
- Diafragma.
- Manómetro diferencial de mercurio
- Caudalímetro tarado.
- Diámetro de la tubería 16 mm.
- Diámetro del diafragma 10 mm

15.4. ESQUEMA DE LA PRÁCTICA



15.5. MÉTODO OPERATIVO

Comprobar la instalación antes de la puesta en marcha, verificando el estado de todas las válvulas.

Se pondrá en marcha el alimentador de caudal, se abrirá la válvula de paso esférica previa a la línea del diafragma, y a continuación se irá abriendo la válvula de regulación, de membrana situada en la tubería de descarga, *lentamente y observando la variación del manómetro de mercurio* hasta alcanzar un **caudal máximo de 2600 l/h**, una vez conseguido el funcionamiento de régimen, se anotará el dato facilitado por el caudalímetro y por manómetro diferencial (rama de la izquierda y de la derecha),

Se realizará lo indicado para **6** caudales diferentes.

15.6. TRABAJO DE GABINETE

- Dibujar el esquema de la práctica.
- Explicar su realización con una pequeña memoria.
- Deducir la expresión del caudal teórico para el diafragma y manómetro diferencial utilizado.
- Realizar un cuadro en el que se calculen el caudal real, el teórico y el coeficiente del diafragma C.
- Dibujar en unos ejes coordenados cartesianos el caudal real en abscisas (eje x) y el teórico en ordenadas (eje y), calculando gráficamente el coeficiente C.
- Analícense las diferencias entre los resultados obtenidos y los facilitados en el ábaco del diafragma VDI, calculando previamente todas las variables necesarias

$$\left(\frac{A_2}{A_1}, V_1, Re_1 \right).$$

16. MEDIDORES INDIRECTOS DE FLUJO (Tema 13)

❖ MEDIDORES DE VELOCIDAD

- **Anemómetro De Eje Vertical:** Muy utilizado en meteorología. El fundamento de este instrumento es el siguiente: Cuatro casquetes esféricos están dispuestos en los extremos de una cruceta, que puede girar libremente, de manera que las caras cóncavas en el mismo brazo miren en direcciones opuestas. Se comprueba que la resistencia a la corriente de aire en la parte cóncava es aproximadamente tres veces mayor que en la convexa, lo que da origen a un par de giro. La velocidad del viento es aproximadamente proporcional al número de revoluciones de la cruceta. No obstante será necesario un tarado del instrumento. Se pueden medir velocidades de la gama de 0,5-50 m/s.
- **Anemómetro De Eje Horizontal:** El anemómetro de paletas que se ve en la figura, no es más que una turbina de hélice accionada por el viento, que puede girar libremente en el interior de una caja cilíndrica. La velocidad del aire es función del número de revoluciones, lo que permite la medición de aquella. El intervalo de valores de aplicación es entre 0,2 y 20 m/s.
- **Anemómetro De Hilo Caliente:** Es un instrumento de gran precisión, muy utilizado en los laboratorios de aerodinámica y de mecánica de fluidos, sobre todo en gases. El instrumento tiene la ventaja de su pequeño tamaño, que permite medir velocidades prácticamente puntuales, de su pequeña inercia, que permite medir velocidades que varían rápidamente en el tiempo. Se basa en que la resistencia de los conductores eléctricos es función de la temperatura.

Esencialmente consiste en un hilo de platino 1, soldado a dos electrodos 2. El conductor 1 se calienta mediante una resistencia eléctrica y se introduce en la corriente de fluido. El conductor calienta la corriente de fluido con lo que su temperatura disminuye y su resistencia varía. Esta variación, una vez tarado el instrumento, permite medir la velocidad del fluido de la cual es función la variación de resistencia.

Fundamentalmente hay dos esquemas eléctricos que permiten realizar la medición: con intensidad constante y con resistencia eléctrica constante. A este último corresponde el de la figura.

El conducto 1 se conecta en una de las ramas del puente de Wheatstone, 3. El puente se equilibra para un cierto valor de la velocidad. Al variar la velocidad el puente se desequilibra porque varía la resistencia de 1, para equilibrarlo de nuevo la temperatura de 1 se restituye al primitivo valor por medio del potenciómetro A. A continuación se mide la corriente en el amperímetro A, que nos da previo tarado la medida de la velocidad del fluido.

- ***Molinete Hidráulico:*** Así como los anemómetros sirven para medir la velocidad en los gases, los molinetes sirven para medir la velocidad en los líquidos. Consiste en una hélice de 6 a 12 cm de diámetro que arrastra mediante un tornillo sin fin una rueda dentada provista de un contacto eléctrico. El contacto cierra el circuito de un registrador de banda de papel o un timbre.

El molinete se instala en un vástago vertical a la altura del punto donde se quiere medir la velocidad. La velocidad del fluido es directamente proporcional al tiempo transcurrido entre dos timbrados consecutivos.

Los molinetes se utilizan mucho para medir los caudales de los ríos, en aquellos casos en que se prevé una futura utilización.

❖ MEDIDORES VOLUMÉTRICOS

- **Contadores De Desplazamiento Positivo:** Se construyen en una gran variedad de tipos, en todos ellos es accionado un contador a expensas del desplazamiento de émbolos o tabiques accionados por la corriente fluida. El contador registra el número de desplazamientos en una unidad conveniente como litros o metros cúbicos.

Un medidor común es el de disco, usado en la mayoría de los sistemas domésticos de distribución de agua. Cuando pasa un determinado volumen de fluido el disco gira un ángulo determinado. Un vástago normal al disco hace funcionar unos engranajes, los cuales al girar hacen de contador.

- **Contadores De Turbina:** Constan de un rotor que no se diferencia en nada de una turbina hidráulica accionada por el mismo caudal que se quiere medir. Se construyen de eje vertical y horizontal. El número de revoluciones de la turbina es proporcional al volumen de agua que la atraviesa. El eje está acoplado mecánica o eléctricamente con un contador que mide el volumen.

En la figura tenemos un transductor electromagnético que es un contador de turbina que opera con transductor eléctrico de caudal. Al pasar cada paleta por el "pickup" magnético, genera un impulso o voltaje de corriente alterna. La frecuencia de impulsos es proporcional al caudal y cada impulso representa un volumen discreto de fluido. Los impulsos de salida pueden transmitirse a distancia a instrumentos digitales para indicación o control de flujo.

❖ CAUDALÍMETROS

Son instrumentos que miden el caudal en cada instante. Adaptando a un caudalímetro un integrador se obtiene el flujo total o volumen que ha circulado por la tubería. En la figura puede verse un integrador conectable a cualquier tipo de caudalímetro dotado de transmisión neumática.

- ***Manómetros Diferenciales De Raíz Cuadrada:*** En los aparatos deprimógenos el caudal es proporcional a la diferencia de alturas en el manómetro diferencial:

$$Q = C \cdot h^{\frac{1}{2}}$$

El incremento de h se mide con un manómetro diferencial de tipo flotador, de tipo anular teórico, de tipo Bourdon, etc. El manómetro puede dar directamente la lectura en caudales si se le incorpora un convertidor de raíz cuadrada.

El principio hidráulico utilizado en los manómetros de flotador se ilustra en la figura. Dos vasos comunicantes A y B están parcialmente llenos de mercurio. El vaso de alta presión A tiene en su interior un cuerpo cuyo perfil se diseña de manera que la elevación del mercurio en el vaso de baja presión B sea proporcional a la raíz cuadrada de la lectura incremento de h . El movimiento del flotador proporcional al caudal se transmite al indicador, registrador o indicador.

El manómetro diferencial teórico es muy utilizado en la práctica. La palanca P unida a la aguja indicadora lleva solidario el rodillo R, que recorre la curva de la leva solidaria al disco giratorio D del manómetro. El perfil de la leva se escoge de forma que la desviación angular de la aguja sea proporcional al caudal.

- **Caudalímetros Electromagnéticos:** En la figura se muestra un esquema del funcionamiento de estos caudalímetros, que son transductores de flujo.

El fundamento es la ley de inducción electromagnética de Faraday. Mediante una fuente de tensión (220 V- 50 Hz) y el arrollamiento de campo se crea un campo magnético. Mediante el arrollamiento de referencia se obtiene un campo inducido y mediante una resistencia variable se ajusta una tensión de referencia: E_r en función de las velocidades o caudales que se quiera medir.

En este caso, el conductor es el propio fluido que se mueve cortando las líneas de flujo del campo magnético que es proporcional a la velocidad del fluido. En la tubería se colocan unos electrodos que están en contacto con el fluido, montados en ángulo recto a las líneas de fuerza del campo magnético y que se comportan como las escobillas de un generador. Por ellos se obtiene una corriente inducida: E_s , cuyo valor nos da una medida de la velocidad y por tanto del caudal.

Se medirá un porcentaje del caudal de referencia mediante:

$$\frac{E_s}{E_r}$$

La gama de medidas es de 0 a 100% del valor de referencia ajustado. La precisión viene a ser de 0,5 a 1% del caudal máximo.

Sólo es necesaria una conductividad eléctrica del fluido mínima de 5 m/cm².

Son indicados para líquidos sucios, viscosos, corrosivos, en los cuales es difícil la medida.

$$Q = S \cdot V$$

$$S = Cte.$$

$$E_r = f(V)$$

$$E_s = f(V)$$

- **Caudalímetro De Ultrasonidos:** Los caudalímetros de ultrasonidos como los anteriores son muy exactos pero de precio muy elevado.

Constan de un trozo de tubería que se embrida en la tubería principal por la que circula el líquido. Está dotado de dos centros emisores de radiaciones ultrasónicas y de dos centros receptores. El centro emisor 1 irradia en la dirección de la velocidad V del fluido; mientras que el centro 2 lo hace en sentido contrario. Una y otra radiación forman un ángulo con V . La radiación 1 se trasmite a mayor velocidad que la 2. Las velocidades C_1 y C_2 se calculan con el aparato, dada la distancia entre emisor y receptor, se tendrá:

$$C_1 = C_0 + V \cos \beta$$

$$C_1 - C_2 = 2 V \cos \beta$$

$$C_2 = C_0 - V \cos \beta$$

$$V = \frac{(C_1 - C_2)}{2 \cos \beta}$$

y finalmente el caudal será:

$$Q = Cte. \frac{\pi D^2}{4} \frac{c_1 - c_2}{2 \cos \beta}$$

Con el factor "Cte" que se determina mediante tarado, se tiene en cuenta la distribución de velocidades en el área transversal de la tubería ya que en general V no coincide con la velocidad media.

MEDIDORES DE VELOCIDAD

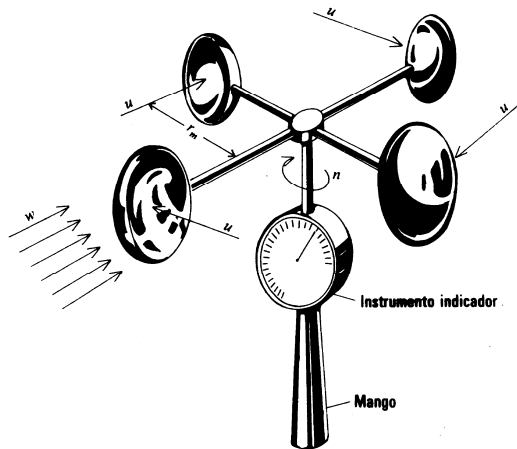


Figura 16-1 – Anemómetro de cucharas de eje vertical.

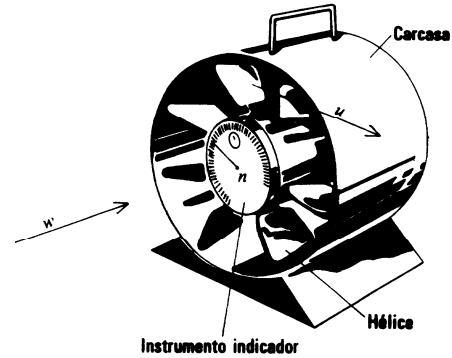


Figura 16-2 – Anemómetro de paletas de eje horizontal.

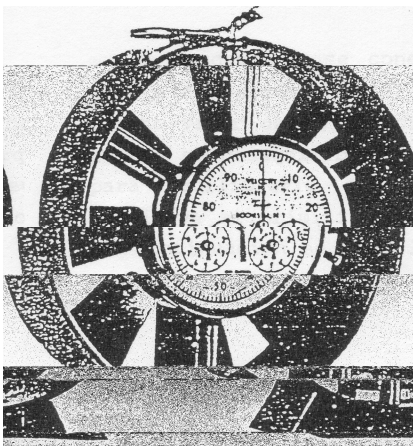


Figura 16-3 – Anemómetro de paletas (Taylor Instrument Co.).

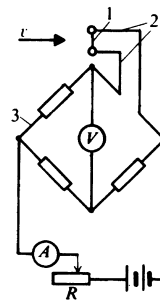


Figura 16-4 – Anemómetro de hilo caliente conectado según el método de resistencia constante.

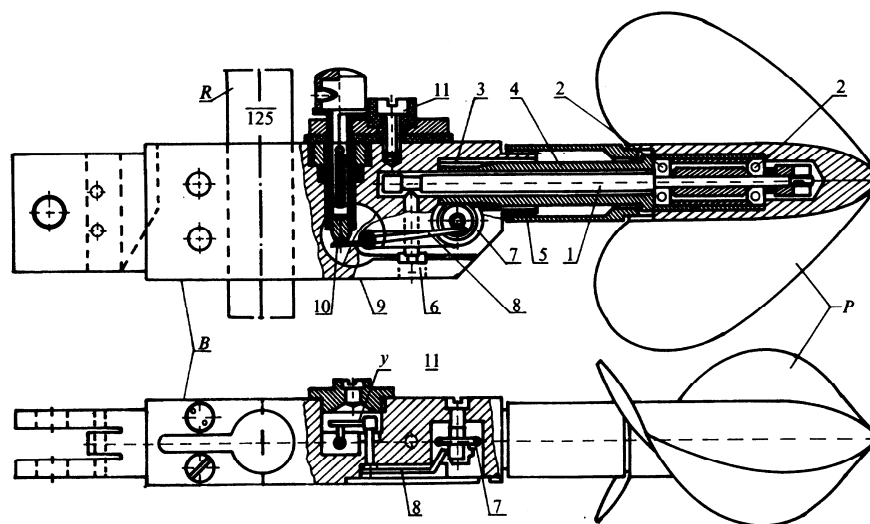


Figura 16-5 – Molinete hidráulico con contador eléctrico: B, cuerpo; P, hélice de dos paletas; R, vástago; 1, eje de la hélice; 2, cojinetes de bolas; 3, sin fin transmisor; 4, casquillo del sin fin; 5, casquillo protector; 6, tornillo de fijación; 7, contacto de la rueda y sin fin; 8, leva de contacto; 9, brazo; 10, contacto; 11, botón terminal; 12, cubierta.

MEDIDORES VOLUMÉTRICOS

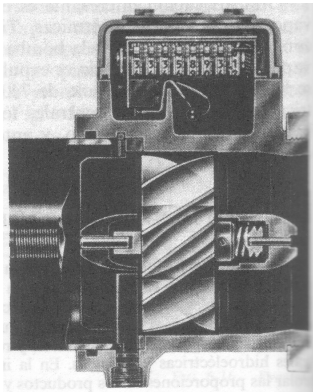


Figura 16-6 – Contador de agua WPG – K de la firma Brooks Instruments que puede ser utilizado en tubería horizontal, vertical o inclinada, con controlador de rodillos utilizable para caudales de 22 (50 mm de diámetro nominal) a 120 m³/h (100 mm de diámetro).

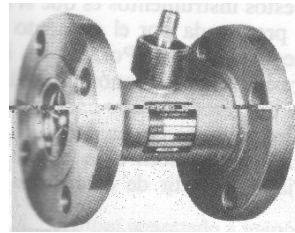


Figura 16-7 – Transductor electromagnético de flujo de tipo turbina, de la firma Foxboro de Estados Unidos. Se construyen para su uso con una gran variedad de fluidos: alcohol, acetona, solución amoniacal, benceno, butano, gasolina, queroseno, propileno, agua salada, agua, tetracloruro de titanio, etc...

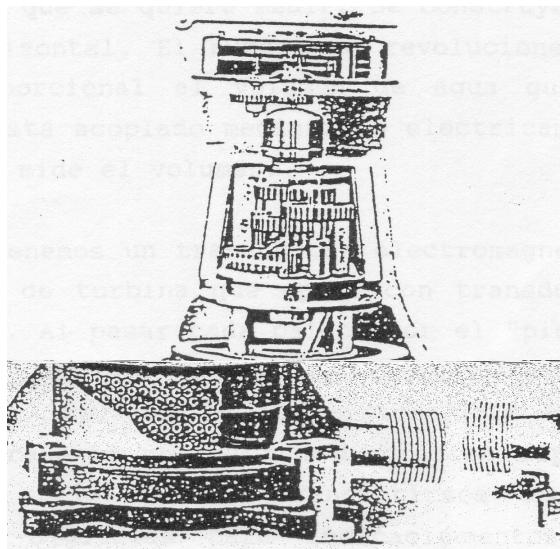


Figura 16-8 – Medidor de disco. (Neptuno Meter Co.).

CAUDALÍMETROS

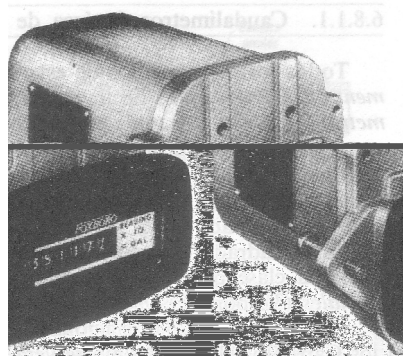


Figura 16-9 – Integrador de flujo de seis dígitos, modelo 14 A de la casa Foxboro con caja de aluminio. Recibe la salida de cualquier transmisor de flujo y está dotado de turbina accionada por aire, cuya velocidad varía en razón directa de la raíz cuadrada de la señal neumática recibida, la cual turbina acciona el contador, que totaliza el volumen gastado.

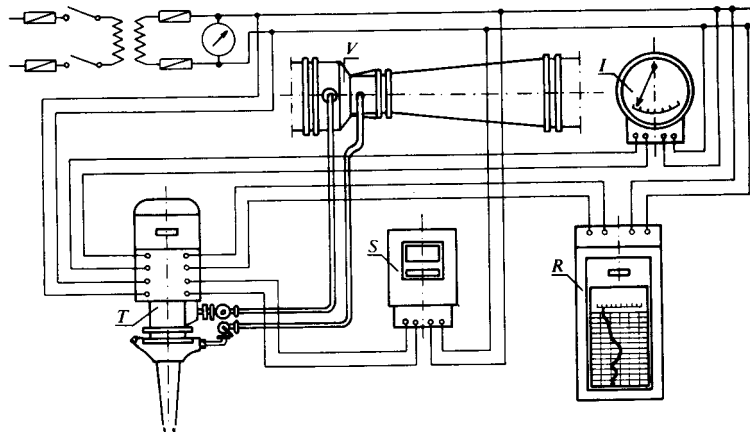


Figura 16-10 – Tubo de Venturi: V, con transmisor eléctrico; T, indicador de flujo; I, registrador de flujo R e integrador S.

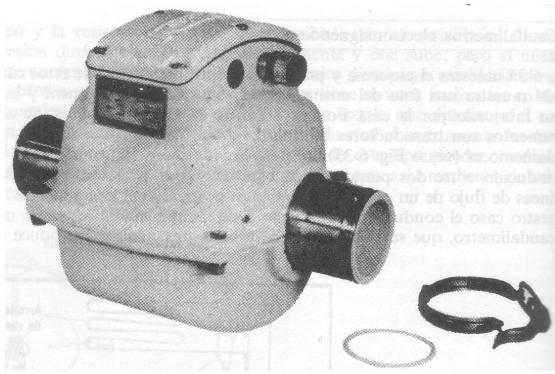


Figura 16-11 – Caudalímetro electromagnético de la casa Foxboro de Estados Unidos

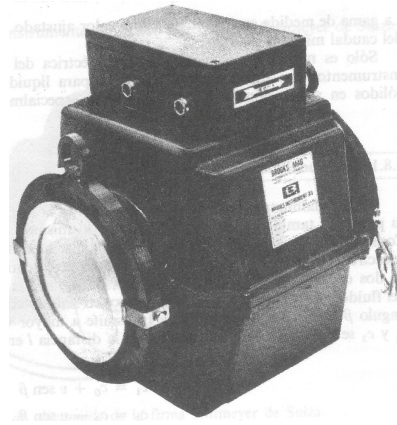


Figura 16-12 – Caudalímetro electromagnético Brooks.

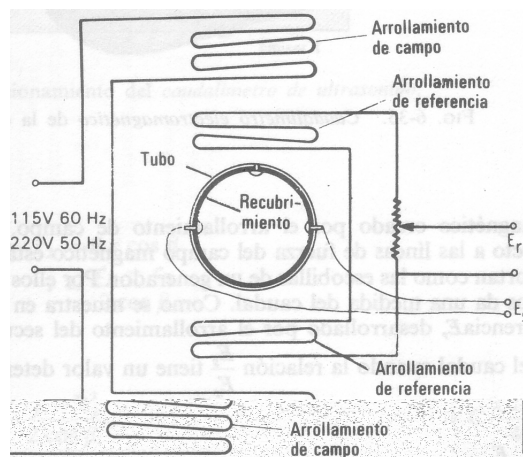


Figura 16-13 – Principio de funcionamiento de un caudalímetro electromagnético.

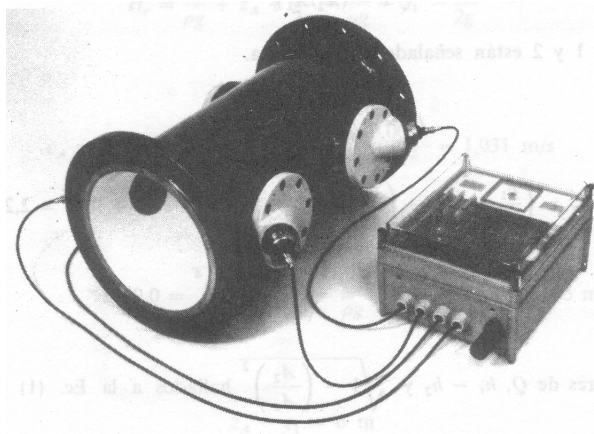


Figura 16-14 –Caudalímetro de ultrasonido de la firma Rittmeyer de Suiza.

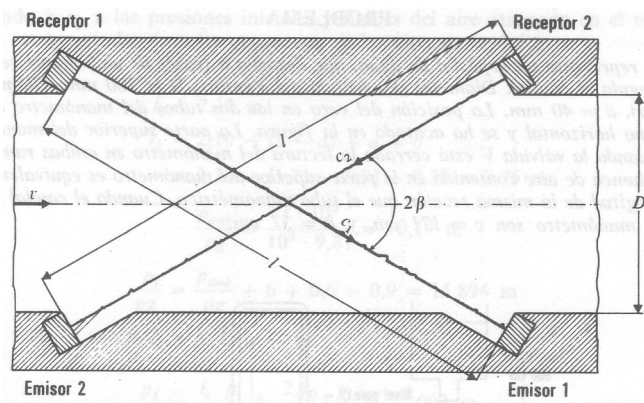


Figura 16-15 –Principio de funcionamiento del caudalímetro de ultrasonido.

MANÓMETROS DIFERENCIALES DE RAÍZ CUADRA

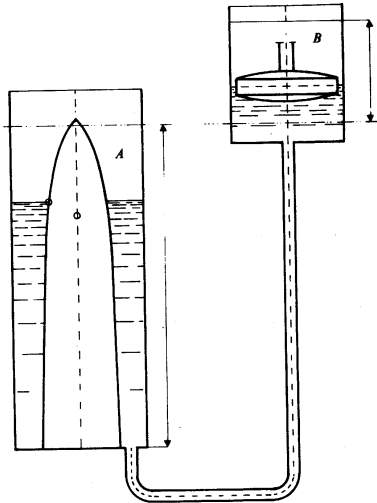


Figura 16-16 – Esquema de un *manómetro diferencial con extracción automática de raíz cuadrada*.

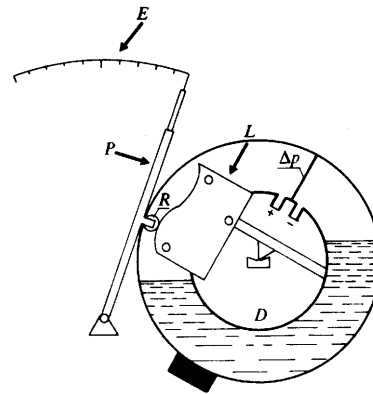


Figura 16-17 – *Manómetro tórico D* equipado con leva de extracción de raíz cuadrada: L, leva; P, palanca; R, rodillo; E, escala.

17. CALIBRADO DE UN ROTÁMETRO (Tema 13)

17.1. OBJETO DEL ENSAYO

Conocimiento del rotámetro y del coeficiente de corrección de las medidas que facilita.

17.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Fuerzas sobre un cuerpo sumergido en un flujo fluido y Aplicación de la ecuación de Bernoulli.

17.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Alimentador de caudal.
- Sistema de tuberías.
- Rotámetro.
- Depósito tarado.
- Cronómetro.

17.4. MÉTODO OPERATORIO

Comprobar la instalación, antes de la puesta en marcha, verificando el estado de todas las válvulas. Se dispondrán en serie los elementos señalados en el apartado anterior. Se pondrá en marcha el alimentador hasta alcanzar la velocidad de régimen. Se anotará el caudal señalado en el rotámetro, el volumen del depósito tarado y el tiempo de llenado de éste (2 medidas como mínimo para cada caudal).

Esto se realizará para 5 caudales diferentes.

17.5. TRABAJO DE GABINETE

- Dibujar el esquema de la práctica.
- Con los datos obtenidos calcular para cada caudal, el real y el indicado por el rotámetro.
- Con estos datos construir una línea en unos ejes coordenados, representando en abscisas el caudal indicado por el rotámetro y en ordenadas el real.
- Interpretar la línea obtenida.
- Calcular los coeficientes de corrección.

18. ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS (Tema 18 y 19)

18.1. OBJETO DEL ENSAYO

Calcular las pérdidas de carga en tuberías mediante datos obtenidos en laboratorio. Calcular estas mismas pérdidas de carga mediante fórmulas prácticas con el fin de comparar los resultados.

18.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Resistencia al flujo fluido en conductos cerrados. Cálculo del coeficiente de fricción en tuberías. Cálculo de pérdidas de carga por Darcy-Weisbach y Hazen-Williams.

18.3. MATERIAL A UTILIZAR

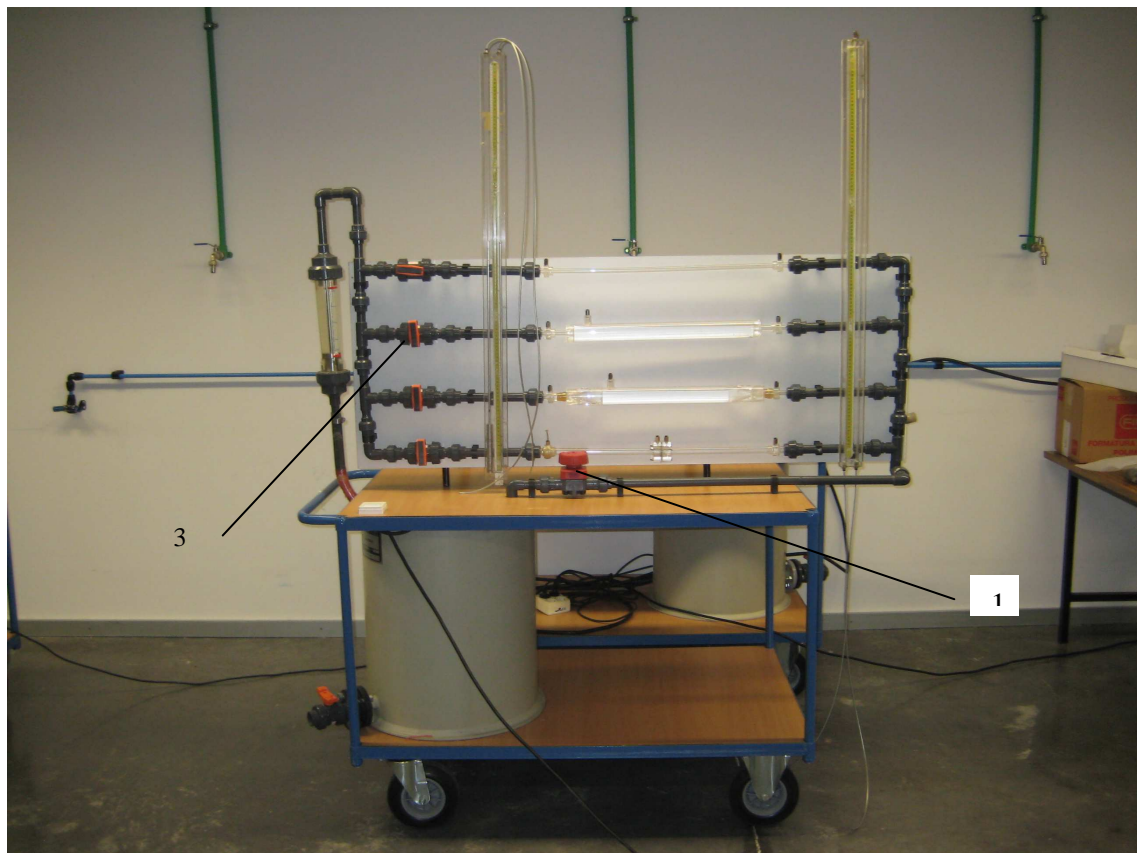
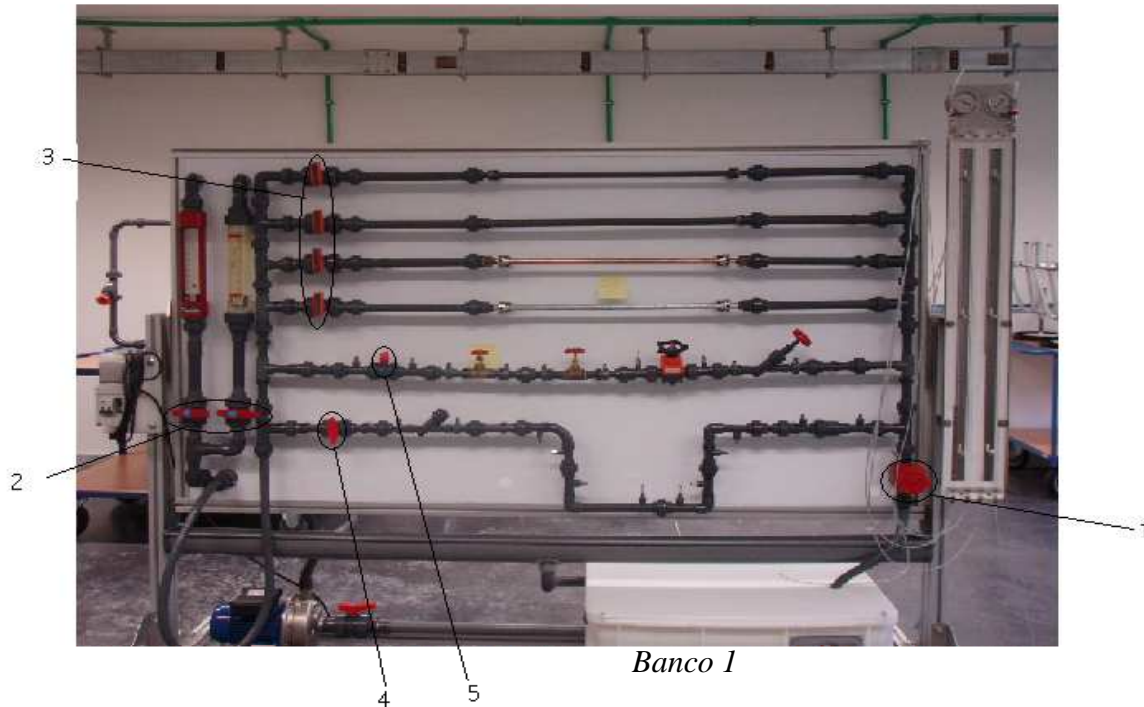
Se empleará el banco de perdidas de carga del laboratorio. De él se necesitan los siguientes elementos.

- Bomba centrífuga alimentadora de caudal.
- Sistema de tuberías de diferentes diámetros interiores (13 y 21 mm) y materiales (PVC, cobre y acero galvanizado).
- Manómetros.
- Rotámetro 1 (500-4000l/h, cuyo coeficiente de corrección es $C_1=1$) y el rotámetro 2 (100-1000l/h, cuyo coeficiente de corrección es $C_2=0.94$). Coeficiente del caudalímetro del banco 2 : $C = 0,9332$

18.4. DATOS DE LAS TUBERÍAS

- Tubería de PVC de $D_{\text{interno}}=13\text{mm}$ y $L=647\text{mm}$
- Tubería de PVC de $D_{\text{interno}}=21\text{mm}$ y $L=650\text{mm}$
- Tubería de COBRE de $D_{\text{interno}}=13\text{mm}$ y $L=595\text{mm}$
- Tubería de GALVANIZADO de $D_{\text{interno}}=13\text{mm}$ y $L=595\text{mm}$
- Tubería de METACRILATO de $D_{\text{interno}}=12\text{mm}$ y $L=655\text{mm}$

18.5. MÉTODO OPERATORIO



Se pondrá en funcionamiento la bomba que alimenta de caudal al sistema de tuberías. A continuación se abre la válvula de esfera (2 del banco 1) correspondiente al rotámetro que se va a utilizar, (100-1000l/h para las tuberías de 13mm de diámetro interior y el de 500-4000l/h para la tubería de 21mm de diámetro interior).

Una vez elegida la tubería a estudiar y tras conectarle el manómetro en U a las tomas rápidas de presión, se abre la válvula de esfera (3) correspondiente a la tubería deseada, manteniendo el resto de válvulas cerradas (incluidas la 4 y 5).

Con la válvula reguladora de caudal (1) totalmente abierta, se anotarán el caudal facilitado por el rotámetro y las lecturas de los manómetros situados en la parte derecha del banco.

Se procederá a continuación a ir cerrando la válvula (1), cuando en cada posición de la válvula, se haya conseguido el funcionamiento de régimen, se anotarán de nuevo las medidas señaladas más arriba.

Las medidas anteriores se harán como mínimo para 6 caudales diferentes, procurando que sean a intervalos parecidos.

Se realizará el proceso anterior con cada una de las cuatro tuberías (PVC y Cobre, en el banco 1 y metacrilato y Galvanizado en el banco 2).

18.6. TRABAJO DE GABINETE

- En primer lugar se dibujará el esquema de la práctica.
- Relación en cuadros, de todos los datos y medidas realizadas en el laboratorio.
- Método de cálculo de las h_f en cada tubería por medio de la aplicación de Bernoulli y manómetros en cada caso.
- Con los datos obtenidos se realizará lo siguiente:
 - ⇒ Cálculo de pérdidas de carga para cada caudal circulante, mediante las medidas realizadas en el laboratorio (método experimental).

- ⇒ Construcción de las 2 curvas (según el banco utilizado) h_f (ordenadas) y Q (abcisas) en un mismo diagrama, comparando los resultados obtenidos y sacando las conclusiones oportunas.
 - ⇒ Calcular la pérdida de carga para cada caudal mediante la fórmula de Darcy-Weisbach y el ábaco de Moody (sólo PVC; $D_{int}=13\text{mm}$ o galvanizada; $D_{int} = 13\text{ mm}$, según banco utilizado).
 - ⇒ Calcular la pérdida de carga para cada caudal mediante la expresión de Hazen-Williams (sólo PVC; $D_{int} =13\text{mm}$ o galvanizada; $D_{int} = 13\text{ mm}$, según banco utilizado).
 - ⇒ Construcción de las 3 curvas h_f (ordenadas) y Q (abcisas), en el caso solamente de la tubería de PVC $D_{int} =13\text{mm}$, o galvanizada; $D_{int} = 12\text{ mm}$, según banco utilizado, obtenidas de:
 - a. Forma experimental.
 - b. Hazen – Williams
 - c. Darcy-Weisbach y ábaco de Moody
- Calcular el error máximo y error medio existente entre ellas
- Comparar los resultados obtenidos y sacar las consecuencias oportunas.

19. ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN PIEZAS ESPECIALES (Tema 19)

19.1. OBJETO DEL ENSAYO

Calcular la longitud equivalente y el factor de paso K de piezas especiales mediante datos obtenidos en el laboratorio.

19.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Pérdidas de carga en piezas especiales o pérdidas menores.

19.3. MATERIAL A UTILIZAR

Se empleará el banco de pérdidas de carga del laboratorio



19.4. MÉTODO OPERATORIO

En primer lugar se abre la válvula de control (1). Las piezas especiales a estudiar están en la sexta línea. La tubería es de PVC, de diámetro interior 21 mm). Las válvulas 3 y 5 deben estar cerradas.

Una vez puesta en marcha la bomba, se abre la válvula (2) de entrada del rotámetro con el que se va a trabajar.

Trás haber conectado los tubos de los manómetros a las tomas rápidas de presión, para cada caudal se tomarán las lecturas de los manómetros en U, a la entrada y la salida de la pieza especial a estudiar.

Medir la longitud de los tramos de tubería recta situados antes y después de la pieza especial (si existen).

NOTA: Se tomarán como mínimo medidas para 6 caudales diferentes.

19.5. TRABAJO DE GABINETE

- Dibujar el esquema de la práctica.
- Calcular la pérdida de carga en la pieza especial, determinando previamente, por datos experimentales, la pérdida de carga del tramo de tubería recta (si existiese), todo ello para cada caudal.
- Calcular con los datos de caudal y pérdida de carga en la pieza especial, el factor de paso para cada caudal, y el valor medio de dicho factor de paso K para cada pieza especial.
- Análogamente y mediante la expresión de Darcy Weisbach y el coeficiente de fricción f , calcular la longitud equivalente para cada caudal y el valor medio de dicha longitud equivalente de cada pieza especial ..
- Dibujar la curva característica h_f -Q de la tubería recta (si existe) y de cada una de las piezas especiales medidas.
- Dibujar la curva característica h_f -Q comparativa entre las piezas especiales del mismo tipo (codo brusco-curva larga; filtro horizontal-filtro inclinado).

20. ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y ENSANCHAMIENTO PROGRESIVO (Tema 19)

20.1. OBJETO DEL ENSAYO

Calcular la longitud equivalente y el factor de paso K de ensanchamiento brusco y progresivo mediante datos obtenidos en el laboratorio y comparar con los obtenidos teóricamente mediante tablas.

20.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Pérdidas de carga en piezas especiales o pérdidas menores.

20.3. MATERIAL A UTILIZAR

Se empleará el banco de pérdidas de carga del laboratorio N° 2

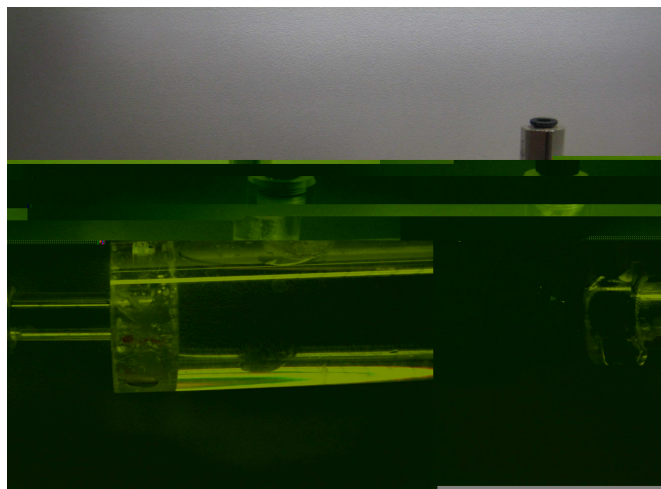
Diámetro a la entrada (1): 12 mm

Diámetro en el ensanchamiento (2): 42 mm

Coeficiente del caudalímetro: 0,9332

Ángulo del ensanchamiento progresivo: 15°

- Ensanchamiento brusco:

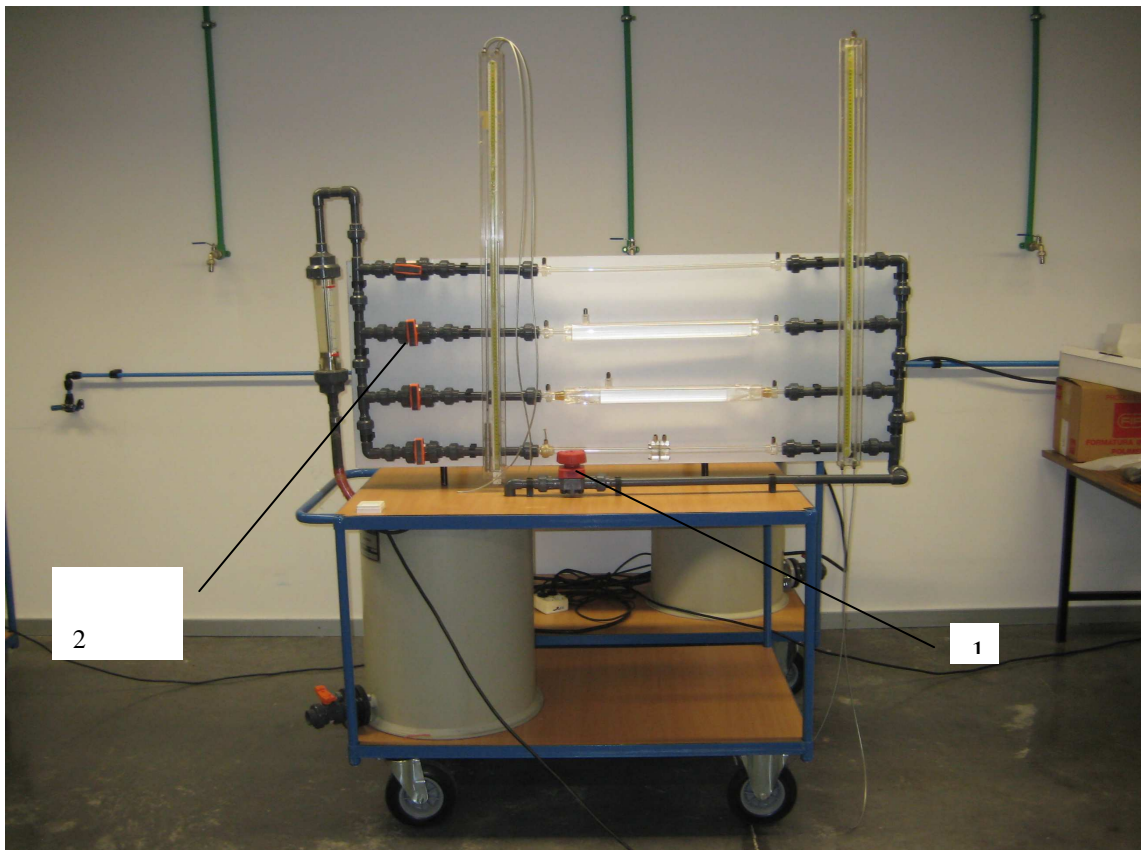


- Ensanchamiento progresivo



20.4. MÉTODO OPERATORIO

En primer lugar se abre ligeramente la válvula de control (1) (V. de membrana) situada en la parte inferior, sobre la mesa del banco. Las piezas especiales a estudiar están en la segunda y tercera línea. La tubería es de metacrilato. *Caudal máximo a utilizar: 3000 l/h*



Una vez puesta en marcha la bomba, se abre lentamente la válvula de esfera (2), previa a la línea que se va a utilizar, regulando el caudal mediante dicha válvula.

Tras haber conectado los tubos de los manómetros a las tomas rápidas de presión, para cada caudal se tomarán las lecturas de los manómetros en U, a la entrada y la salida de la pieza especial a estudiar. Utilizar la válvula de membrana (1) para situar la lectura en el manómetro.

NOTA: Se tomarán como mínimo medidas para 6 caudales diferentes.

20.5. TRABAJO DE GABINETE

- Dibujar el esquema de la práctica.
- Deducir la expresión de las pérdidas de carga en el ensanchamiento.
- Calcular con los datos del caudal la velocidad en la tubería, la velocidad en el ensanchamiento y la pérdida de carga en dicho ensanchamiento, el factor de paso K , en función de la energía cinética a la entrada (1), y el valor medio de dicho factor de paso K para cada tipo de ensanchamiento.
- Calcular para cada caudal la pérdida de carga que se obtendría teóricamente mediante los datos del cuaderno de cuadros y ábacos. En el caso del ensanchamiento progresivo calcular como progresivo ($\alpha \leq 10^\circ$) y como brusco ($\alpha > 10^\circ$).
- Análogamente y mediante la expresión de Darcy-Weisbach y el coeficiente de fricción f , calcular la longitud equivalente para cada caudal y el valor medio de dicha longitud equivalente de cada tipo de ensanchamiento, en función de la velocidad en la tubería a la entrada.
- Dibujar la curva característica h_f-Q , para cada uno de los ensanchamientos medidos, real y teórica (con los datos del cuaderno de ábacos) (h_f en ordenadas y Q en abscisas).
- Dibujar la curva característica real h_f-Q (h_f en ordenadas y Q en abscisas) comparativa entre los dos tipos de ensanchamiento (ensanchamiento brusco y progresivo).
- Dibujar, para cada tipo de ensanchamiento, la gráfica factor de paso K en ordenadas y energía cinética a la entrada (1) en abscisas, indicar tipo de curva y lo que representa.



21.4. MÉTODO OPERATORIO

Siguiendo el mismo proceso indicado en el guión de la práctica anterior, pero cerrando la válvula 4 y abriendo la 5, se hacen medidas en las válvulas para diferentes grados de apertura (mínimo de 3, según el tipo de válvula):

- Válvula abierta.
- Válvula 3/4 abierta.
- Válvula 1/2 abierta.
- Válvula 1/4 abierta.

La tubería es de PVC, cuyo diámetro interior es de 16 mm.

Para cada posición de la válvula y para 3 caudales circulantes, diferentes, anotar la lectura de dichos caudales y de las presiones a la entrada y salida de la válvula mediante manómetros

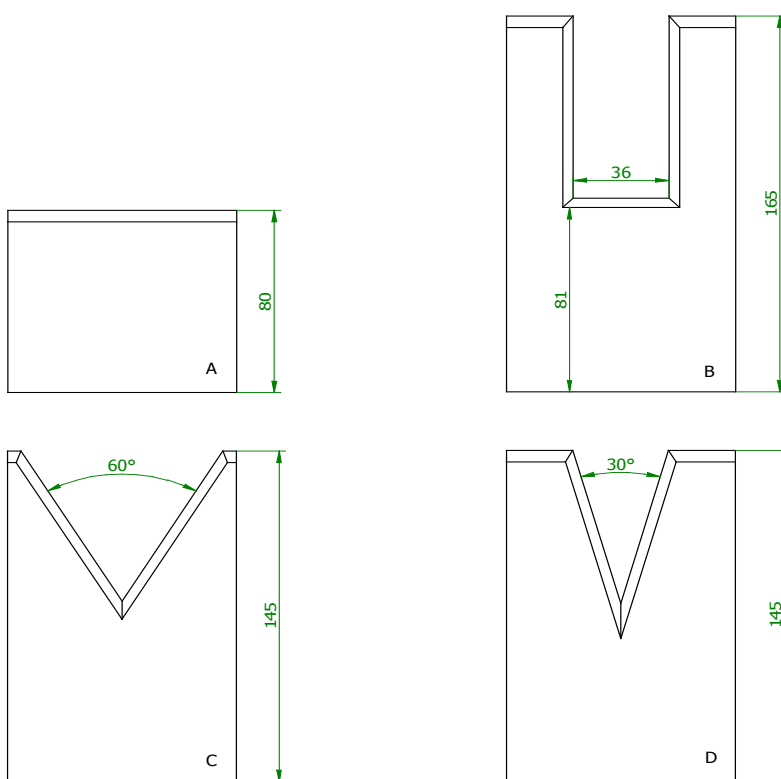
21.5. TRABAJO DE GABINETE

- Esquema de la instalación.
- Calcular las pérdidas de carga en la válvula para cada grado de apertura de la misma, y para cada uno de los 3 caudales.
- Calcular el factor de paso K medio para cada grado de apertura de la válvula.
- Calcular la longitud equivalente media para cada grado de apertura de la válvula.
- Calcular la evolución del factor de paso K en función de la apertura de la válvula.
- Calcular la evolución de la longitud equivalente en función de la apertura de la válvula.

22. MEDICIÓN DE CAUDALES MEDIANTE VERTEDEROS (Tema 21)

22.1. OBJETO DEL ENSAYO

Conocer algunas de las formas de calcular caudales en conductos abiertos, concretamente en esta práctica se presentan cuatro vertederos en pared delgada diferentes.



- a) Vertedero rectangular
- b) Vertedero horizontal con contracciones laterales
- c) Vertedero con muesca en V, ángulo de 60°
- d) Vertedero con muesca en V, ángulo de 30°.

22.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Concepto de vertederos en pared delgada, fundamento e hipótesis restrictivas. Aplicación de las ecuaciones de Bernoulli, de Torricelli, y de la continuidad

22.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Canal hidrodinámico.
- Vertederos en pared delgada: en U, en V y horizontal..
- Medidor de nivel.
- Alimentador de caudal
- Rotámetro

22.4. MÉTODO OPERATORIO

Se pondrá en el canal hidrodinámico uno de los vertederos, a continuación se hará funcionar la bomba de alimentación hasta alcanzar el funcionamiento de régimen.

Una vez alcanzado éste se medirá la altura del nivel del agua sobre el umbral del vertedero mediante el linnímetro, y el caudal mediante rotámetro.

Las medidas anteriores se realizarán para 8 caudales en cada vertedero.

22.5. TRABAJO DE GABINETE

- Esquema de la práctica. y descripción de los elementos utilizados
- Explicación de la evolución del flujo (efecto del vertedero en el flujo, causas...)
- Obtención de la velocidad a la que circula el flujo aguas arriba del vertedero.(V_1).
- Deducción de la expresión caudal teórico en los vertederos en pared delgada .
Hipótesis restrictivas.
- Cálculo del caudal teórico.
- Obtención del gráfico: caudal real (en ordenadas) y caudal teórico (en abcisas).
Deducir el coeficiente de corrección correspondiente para cada vertedero
- Obtener el gráfico que relaciona la altura del agua (h) antes de que se vea influida por el vertedero y el caudal real circulante

23. ANÁLISIS TOPOLÓGICO DE MÁQUINAS HIDRÁULICAS (Temas 23 y 24)

23.1. OBJETO DE LA PRÁCTICA

Visualización de todos los elementos constitutivos de los diferentes tipos de máquinas hidráulicas es decir turbomáquinas, y máquinas de desplazamiento positivo o volumétricas, y así mismo máquinas motoras y receptoras.

23.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Definición de Máquina Hidráulica y sus diferentes clasificaciones basadas en :

- Principio de funcionamiento.
- Sentido de intercambio de energía.
- Dirección de la trayectoria del fluido.
- Parámetros adimensionales.
- Etc.

23.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Turbinas de acción y de reacción.
- Turbobombas.
- Bombas alternativas.
- Bombas rotativas.
- Motores hidráulicos

23.4. MÉTODO OPERATORIO

Con la ayuda del responsable del laboratorio, se analizará y desmontará, en su caso, cada una de las máquinas indicadas con el fin de conocer su topología y los elementos mecánicos necesarios para su funcionamiento.

23.5. TRABAJO DE GABINETE

- Se realizará un resumen de lo analizado en el laboratorio, incidiendo en las partes más importantes, aportando esquemas de los diferentes tipos de máquinas, y de sus elementos constitutivos.

24. OBTENCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA, Y PÉRDIDAS DE CARGA EN LA VÁLVULA DE REGULACIÓN PARA DIFERENTES GRADOS DE APERTURA (Tema 25)

24.1. OBJETO DEL ENSAYO

Obtener experimentalmente los puntos necesarios para poder dibujar la curva característica que relaciona la altura manométrica de una bomba con el caudal (H_m -Q). Obtener la expresión analítica de la altura manométrica de la instalación en función del caudal $H_i = f(Q)$. Calcular la pérdida de carga de la válvula de impulsión para diferentes grados de apertura.

24.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Concepto de curva característica de una bomba y de una instalación. Pérdidas de carga en tuberías y piezas especiales. Medidas y control del flujo fluido.

24.3. MATERIAL A UTILIZAR

Hay disponibles cinco bancos de ensayo de bombas con sus correspondientes válvulas de maniobrado, caudalímetro, vacuómetro y manómetro.

Las características específicas de cada banco son:

- **Banco 1:** Tubería de hierro galvanizado; diámetro: 36 mm; Válvula de compuerta en la impulsión.
- **Banco 2:** Tubería de PVC; diámetro: 25 mm; Válvula de membrana en la impulsión (banco informatizado).
- **Banco 3:** Tubería de PVC; diámetro: 26 mm; Válvula de asiento inclinado en la impulsión. Caudalímetro de coeficiente $C = 0,95$.
- **Banco 4:** Tubería de PVC; diámetro: 36 mm ; Válvula de asiento inclinado en la impulsión. Caudalímetro electromagnético de coeficiente: $C = 0,9$.

- **Banco 5:** (aparato de turbinas, bomba multicelular); Tubería de PVC; diámetro interior 42,6 mm; Válvula de esfera en la impulsión, caudalímetro digital. Diferencia de cotas entre entrada y salida de la bomba: $\Delta Z = 40$ cm

24.4. MÉTODO OPERATORIO

Primeramente es necesario comprobar que las válvulas se encuentran en las posiciones convenientes para realizar el ensayo. Una vez efectuada la comprobación se pone en marcha el motor que arrastra la bomba, se abrirán las válvulas de paso totalmente y se esperará a alcanzar el régimen permanente. A partir de ese momento se anotarán los datos dados por el vacuómetro, manómetro, y caudalímetro en las unidades indicadas en cada uno de ellos.

Una vez anotados dichos datos, se maniobrá en las válvulas de impulsión para pasar a un nuevo punto de funcionamiento, repitiendo el proceso. Se obtendrán datos para un mínimo de seis puntos.

24.5. TRABAJO DE GABINETE

- Calcular para cada punto los valores de la altura manométrica de la bomba, y caudal real.
- Dibujar mediante la hoja de cálculo Excel, la **curva característica** de la bomba H_m -Q en mca-l/h (H en ordenadas Q en abscisas).
- Obtener la expresión analítica de la curva característica de la instalación ($H_i = K Q^2$) para **la válvula de impulsión totalmente abierta**.
- Dibujar sobre la gráfica de la curva característica de la bomba la curva característica de la instalación para la válvula de impulsión totalmente abierta (tomar como mínimo seis valores para dibujarla).
- Obtener la pérdida de carga en la válvula de impulsión para un determinado grado de apertura, de forma analítica y gráficamente. Obtener las pérdidas de carga en la válvula de regulación para otros dos grados de apertura diferentes, de forma gráfica.
- Obtener la longitud equivalente L_e y el factor de paso K de la válvula de regulación para tres grados de apertura diferentes.

Ayuda: Hoja Excel; obtención de la curva mediante análisis de regresión de los datos obtenidos (líneas de tendencia en gráficos.)

25. VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL FENÓMENO DE LA CAVITACIÓN

25.1. OBJETO DEL ENSAYO

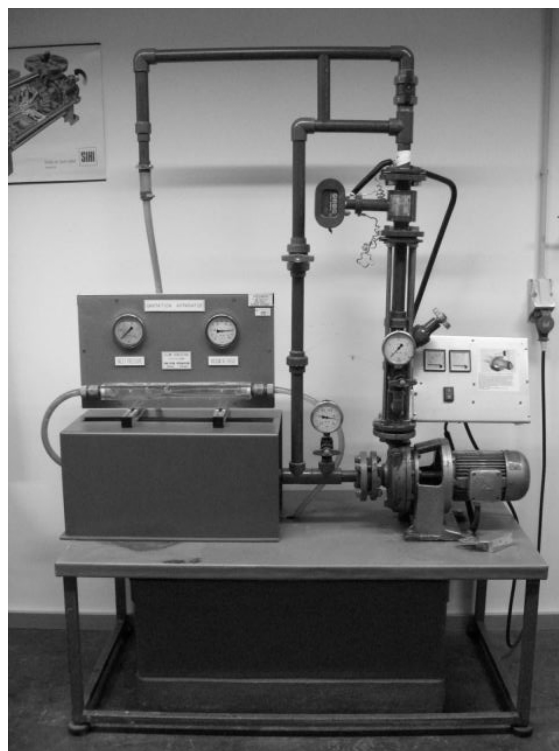
La visualización por parte del alumno del fenómeno de la cavitación y el análisis de la evolución de las presiones a la entrada y en la garganta del aparato (basado en el efecto venturi) previa a la cavitación y durante la misma.

25.2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Presión de vapor, concepto del fenómeno de Cavitación y ecuación de Bernoulli.

25.3. MATERIAL A UTILIZAR

- Aparato con disminución de sección, basado en el efecto venturi, en el que se produce una depresión en el estrechamiento, y preparado para el ensayo con manómetro a la entrada (1) y vacuómetro en el estrechamiento o garganta (2).
- Medidor digital electromagnético de caudal.
- Alimentador de caudal (depósito con turbobomba).
- Válvula de asiento inclinado para regulación.



El manómetro y el vacuómetro instalados en el aparato se encuentran **200mm** por encima del eje del mismo.

Las secciones a la entrada del aparato y en la garganta están anotadas en el propio aparato de cavitación, y son las siguientes: A_1 (entrada) = 150 mm^2 y A_2 (estrechamiento) = 36 mm^2 .

Coefficiente de corrección del caudalímetro: $C = 0,9$

25.4. MÉTODO OPERATORIO

Comprobar la instalación antes de la puesta en marcha, verificando el estado de todas las válvulas.

El sistema dispone en serie de alimentador de caudal, caudalímetro electromagnético digital, válvula de asiento para la regulación del caudal y el propio aparato del ensayo.

Se pondrá en funcionamiento el alimentador de caudal y se abrirá poco a poco la válvula de regulación de asiento lateral.

Tras dejar un tiempo prudencial para que se eliminen las burbujas que circulan por la instalación se procederá a la toma de datos, comenzando con caudales bajos y abriendo progresivamente la válvula para aumentar el caudal. Se observará como disminuye la presión en el estrechamiento (2) y se produce cavitación. Se anotará, en sus unidades respectivas, el caudal proporcionado por el alimentador así como las presiones indicadas por el manómetro (1) y el vacuómetro (2) del aparato de cavitación, observando y apuntando el comienzo y el desarrollo de la cavitación.

Esta operación se realizará para un mínimo de **diez caudales**.

25.5. TRABAJO DE GABINETE

- Utilizando los datos obtenidos en el laboratorio se calcularán para cada caudal los siguientes valores:
 - 1 Q_r = Caudal real circulante.
 - 2 P_1 = Presión a la entrada en mca.
 - 3 P_2 = Presión en el estrechamiento en mca.
 - 4 $P_2 \text{ abs}$ = Presión absoluta en la garganta en mca.
 - 5 V_1 = Velocidad a la entrada.
 - 6 V_2 = Velocidad en la garganta.
 - 7 $V_1^2/2g$ = Energía cinética a la entrada.
 - 8 Aplicando la Ec. de Bernoulli: deducción de la ecuación que relaciona la presión a la entrada P_1 , con la presión en el estrechamiento P_2 y con la energía cinética a la entrada $V_1^2/2g$. determinando en cada caso, con los datos experimentales, el coeficiente de dicha energía cinética (K).
- Con los datos resultantes de las mediciones realizadas se construirán las siguientes curvas mediante la hoja de cálculo Excel:
 - Caudal real (abscisas) –Presiones a la entrada y en la garganta (absolutas y manométricas) (ordenadas). Interpretar la evolución de las mismas y la influencia de la cavitación.
 - Energía cinética a la entrada (abscisas) – Presión a la entrada (ordenadas). Analizar la evolución de la presión tras la cavitación .
 - Caudal real (abscisas) – Presión a la entrada (ordenadas). Analizar la evolución de la presión antes y después de la cavitación.
 - Caudal real (abscisas) – Presión absoluta en la garganta (ordenadas). Interpretar la evolución de la presión en la garganta antes y después de la cavitación.

ANEXOS

GRUPO N°:

UTILIZACION DE LA BALANZA

	Peso (g)	Volumen (ml)
Líquido ()		

Expresiones de cálculo:

$g = 9.8 \text{ m/s}^2$		Líquido ()
Peso	S. I.	
	S.T.	
	C.G.S.	
Masa	S. I.	
	S.T.	
	C.G.S.	
Densidad	S. I.	
	S.T.	
	C.G.S.	
P. Específico	S. I.	
	S.T.	
	C.G.S.	
P.Esp. Relativo	S	

$g = 3.5 \text{ m/s}^2$		Líquido ()
Peso	S. I.	
	S.T.	
	C.G.S.	
Masa	S. I.	
	S.T.	
	C.G.S.	
Densidad	S. I.	
	S.T.	
	C.G.S.	
P.Específico	S. I.	
	S.T.	
	C.G.S.	
P.Esp. Relativo	S	

GRUPO N°:

MEDIDA DE VISCOSIDADES EN EL VISCOSÍMETRO ENGLER

	Agua 20°C		Aceite T ₁ = °C		Aceite T ₂ = °C		Aceite T ₃ = °C		Aceite T ₄ = °C	
Tiempo										
Pesada 10 ml										

Expresiones de cálculo:

	Aceite T= () °C		
	S.I.	S.T.	C.G.S.
ρ			

		Aceite T ₁ = °C	Aceite T ₂ = °C	Aceite T ₃ = °C	Aceite T ₄ = °C
°E					
ν					
μ	S.I.				
	S.T.				
	C.G.S.				

- Gráfica: T - Viscosidad °E

GRUPO N°:

VISUALIZACIÓN DE LA CAPILARIDAD:

Esquemas de los diferentes elementos capilares y su ascenso o descenso

Expresiones de cálculo:

Diagrama de fuerzas:

agua + vidrio

mercurio + vidrio

GRUPO N°:

MEDIDA DE LA PRESIÓN MEDIANTE MANÓMETROS DIFERENCIALES

Esquema del manómetro

	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6
P_1						

Presión atmosférica:

Expresiones de cálculo para la presión manométrica y para la absoluta:

Equivalencia de Unidades

	C.G.S.	S.I.	S.T.	m c a	m c l S=2	atm.
P_1						

	bar	m c Hg (s = 13,6)
$P_1(\text{abs})$		

GRUPO N°:

**MEDIDA DE LA PRESIÓN MEDIANTE
MICROMANÓMETRO.COMPARACIÓN CON UN MANÓMETRO EN U
CONVENCIONAL**

		P_1
Manómetro En U	h derecha	
	h izquierda	
Micromanómetro inclinado	h inicial	
	h final	

		P_1
Manómetro en U	h derecha	
	h izquierda	
Micromanómetro de líquidos inmiscibles	h inicial	
	h final	

Esquema y expresiones de cálculo

Grado de sensibilidad: 1mm equivale a: ?

RESULTADOS:

	U	inclinado	U	Líqu. inmiscibl
P_1 (SI)				
P_1 (mcl)				

GRUPO N°:

MEDIDA DE FUERZAS SOBRE SUPERFICIES

Peso colocado o real (g)	h_1 de agua (mm)

Prismas de Presiones

Expresiones de cálculo: para $h_1 \leq 100$ mm y para $h_2 > 100$ mm

Peso real (g)	h_1 de agua (m)	Par resultante (m.N)	Peso teórico (N)	Peso teórico (g)

GRUPO N°:

UTILIZACIÓN DEL HIDRÓMETRO

	V. Inicial	V. Final	Peso específico relativo S
Líquido ()			

Expresiones de cálculo:

	Peso del densímetro
Líquido ()	

GRUPO N°:

**DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LÍQUIDOS (PESADA
HIDROSTÁTICA)**

Esquema de la práctica y diagrama de fuerzas

	P_1	P_2	Temperatura
Líquido			

Expresiones de cálculo:

Densidad del Líquido:	
S del Líquido:	

GRUPO N°:

MEDIDAS DE LA PRESIÓN ESTÁTICA, DINÁMICA Y TOTAL

	Piezómetro	Elementos presurizados			Altura depósito (cm)	Tiempo (s)
	Abierto (cm)	Piezómetro (cm)	Tubo Pitot (cm)	Tubo de Estático (cm)		
Posición 1						
Posición 2						
Posición 3						
Posición 4						
Posición 5						
Posición 6						

Expresiones de cálculo:

	PRESIÓN ESTÁTICA	Presión Dinámica	Q (l/s)	V (m/s)	Presión Dinámica	Pérdidas de Carga h_f entre
	(piezómetro. abierto) (mca)	Conjunto de T.Pitot y Piezómetros Presurizados (mca)	Método volumétrico	Mediante Q y diámetro de tubería	Con el Caudal medido y el diámetro del tubo	Piezómetro y tubo estático (presurizados) (mca)
Posición 1						
Posición 2						
Posición 3						
Posición 4						
Posición 5						
Posición 6						

GRUPO N°:

MEDIDA DE LA VELOCIDAD DE UN FLUJO DE AIRE

	h izquierda	h derecha
Toma 1		
Toma 2		
Toma 3		

Presión atmosférica:

Temperatura ambiente:

Expresiones de cálculo:

	Velocidad (m/s)
Toma 1	
Toma 2	
Toma 3	

GRUPO N°:

CALIBRADO DE ORIFICIOS EN RÉGIMEN PERMANENTE

	h_1 Piez. Abierto	h_2 T. de Pitot	Q Caudal	L_0 Linnímetro	L_1 Linnímetro
Toma 1					
Toma 2					
Toma 3					
Toma 4					

Distancia desde la base del depósito a la salida exterior = 23,8 mm

Diámetro del orificio:

Distancia entre patas de la horquilla:

Expresiones de cálculo:

Sección teórica:

	Vt	Vr	Cv	D _{chorro}	Cc	Q _{t_{saliente}}	Q _{r_{saliente}}	Cd	$Vr^2/2g$	hf	Q _{entrante}
Toma 1											
Toma 2											
Toma 3											
Toma 4											
Toma 5											
Toma 6											
Toma 7											
Toma 8											

¿ Se obtiene el régimen permanente?:

GRUPO N°:

TIEMPO DE VACIADO DE UN DEPÓSITO

	h inicial	h final	Tiempo t
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Toma 4			
Toma 5			

Expresiones de cálculo:

Expresión del tiempo teórico

T_0

	Tiempo
Toma 1	
Toma 2	
Toma 3	
Toma 4	
Toma 5	

Explicar los motivos por los que difieren los tiempos reales de los teóricos:

GRUPO N°:

CALIBRADO DE VENTURÍMETROS

	h_1	h_2	h_3	$Q_{\text{rotámetro}}$
Toma 1				
Toma 2				
Toma 3				
Toma 4				
Toma 5				
Toma 6				

Expresiones de cálculo:

	$R = h_1 - h_2$	$Q_{\text{teórico}}$	Q_{real}	C_v	h_{f1-3}	V_1	$V_1^2 / 2g$	Re
Toma 1								
Toma 2								
Toma 3								
Toma 4								
Toma 5								
Toma 6								

GRUPO N°:

CALIBRADO DE DIAFRAGMAS

Datos de laboratorio

	Q (caudalímetro) (l/h)	Lectura Manómetro (rama izda) mm	Lectura Manómetro (rama dcha) mm
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Toma 4			
Toma 5			
Toma 6			

Expresiones de cálculo:

Cálculos

	Q: Real (l/s)	R (m)	Q: teórico (l/s)	C Del diafragma	V ₁ (m/s)	Re ₁
Toma 1						
Toma 2						
Toma 3						
Toma 4						
Toma 5						
Toma 6						

GRUPO N°:

CALIBRADO DE ROTÁMETRO

	Caudal del Rotámetro	Volumen	Tiempo 1	Tiempo 2
Toma 1				
Toma 2				
Toma 3				
Toma 4				
Toma 5				

Expresiones de cálculo:

	Caudal Rotámetro	Caudal Real	Coeficiente C
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Toma 4			
Toma 5			

GRUPO N°:

ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN TUBERÍAS

Esquema de la práctica

Tubería (1?)	Caudal del Rotámetro (l/h)	Altura Izquierda (mm)	Altura derecha (mm)	h_f (experimen) (mmca)
Toma 1				
Toma 2				
Toma 3				
Toma 4				
Toma 5				
Toma 6				
Tubería (2?)	Caudal del Rotámetro (l/h)	Altura Izquierda (mm)	Altura derecha (mm)	h_f (experimen) (mmca)
Toma 1				
Toma 2				
Toma 3				
Toma 4				
Toma 5				
Toma 6				

Expresiones de cálculo

	Q_{real} l/s	h_f expe (mca)	V (m/s)	Re	f	h_f (Darcy W) (mca)	J_1	h_f (Hazen-W) (mca)
Tubería 1 $\epsilon/D =$								
Tubería 2 $\epsilon/D =$								

GRUPO N°:

ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN PIEZAS ESPECIALES

Esquema de la práctica

Pieza (?)	Caudal del Rotámetro (l/h)	Presión Izquierda	Presión derecha
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Toma 4			
Toma 5			
Toma 6			
Tubería (2?)	Caudal del Rotámetro (l/h)	Presión Izquierda	Presión derecha
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Toma 4			
Toma 5			
Toma 6			

Expresiones de cálculo

	Q_{real} l/s	h_f exper (mca)	V (m/s)	Re	f	Longitud equival: m	Factor paso k
Pieza 1: $\varepsilon/D =$							
Pieza 2: $\varepsilon/D =$							

GRUPO N°:

ESTUDIO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA EN ENSANCHAMIENTO BRUSCO Y PROGRESIVO

Esquema de la práctica

Ensanchamiento brusco	Caudal del Rotámetro (l/h)	Presión Izquierda	Presión derecha
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Toma 4			
Toma 5			
Toma 6			
Ensanchamiento progresivo	Caudal del Rotámetro (l/h)	Presión Izquierda	Presión derecha
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Toma 4			
Toma 5			
Toma 6			

Expresiones de cálculo

	Q_{real} (l/s)	$(P_1 - P_2)/\gamma$ (mca)	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	$h_f \text{ exper}$ (mca)	Factor de paso K_{experim}	Re_1	f	Longitud equivalente (m)
Pieza 1: $\varepsilon/D =$									
Pieza 2: $\varepsilon/D =$									

GRUPO N°:

**DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE PASO Y DE LA LONGITUD
EQUIVALENTE PARA DIFERENTES GRADOS DE APERTURA DE UNA
VÁLVULA**

Válvula 100% abierta	Q Rotámetro (l/h)	Presión Izquierda	Presión derecha
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Válvula 75 % abierta	Q Rotámetro (l/h)	Presión Izquierda	Presión derecha
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Válvula 50 % abierta	Q Rotámetro (l/h)	Presión Izquierda	Presión derecha
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Válvula 25 % abierta	Q Rotámetro (l/h)	Presión Izquierda	Presión derecha
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			

Expresiones teóricas

Válvula	Q _{real} l/s	h _f exper (mca)	V (m/s)	Re	f	Longitud equival: m	Factor paso k
Grado apert							

GRUPO N°:

OBTENCIÓN DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BOMBA Y
PÉRDIDAS DE CARGA EN LA VÁLVULA DE REGULACIÓN

Esquema de la práctica

Bomba n° ()	Q ()	P_{vacuómetro} ()	P_{manómetro} ()
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Toma 4			
Toma 5			
Toma 6			

Expresiones teóricas

Expresión analítica de la curva característica de la instalación para válvula abierta:

	Q (l/h)	H_m Bomba (mca)	H_{m.i.} (mca)	h_f tubería (mca)	h_f vál (mca)	K_{válvula}	L_{eq} (m)
Toma 1							
Toma 2							

GRUPO N°:

VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DEL FENÓMENO DE LA CAVITACIÓN

Esquema de la práctica

	Q ()	P₁ manómetro ()	P₂ vacuómetro ()
Toma 1			
Toma 2			
Toma 3			
Toma 4			
Toma 5			
Toma 6			
Toma 7			
Toma 8			
Toma 9			
Toma 10			

Expresiones teóricas

	Q_{real} (l/mn)	P₁ mca	P₂ mca	P₂ abs mca	P₁-P₂ mca	V₁ m/s	V₂ m/s	V₁²/2g mca	K
Toma 1									
Toma 2									
Toma 3									
Toma 4									
Toma 5									
Toma 6									
Toma 7									
Toma 8									
Toma 9									
Toma 10									